

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ



Bakalářská práce

**VÝBĚR TECHNOLOGIE MAG PRO SVAŘOVÁNÍ PLECHŮ
TL. 2 – 6 MM**

2012

Jindřich Nosek



Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Katedra strojní technologie

Výběr technologie MAG pro svařování plechů
tloušťky. 2 – 6 mm
Jindřich Nosek

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program T2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Výběr technologie MAG pro svařování plechů tl. 2 až 6 mm

Choice of proper technology for MAG welding of steel sheets of thickness 2 – 6 mm

Jindřich Nosek

KSP – SM – B38

Vedoucí bakalářské práce : Ing. Zdeněk Hudec, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce : Ing. Pavel Bláha, EWE, Bombardier Transportation CZ

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 57
Počet obrázků: 70
Počet tabulek: 16
Počet příloh: 1

Datum: 6. 1. 2012



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Jindřich Nosek
studijní program	B2341 Strojírenství
Obor	3911 R 018 Materiály a technologie
Zaměření	Strojírenská metalurgie

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Výběr technologie MAG pro svařování plechů tl. 2 – 6 mm

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. S použitím dostupné literatury a výsledků katedrového výzkumu prozkoumejte dostupné způsoby svařování MAG pro koutový svar a4 plechů tl. 5 – 6 mm.
2. Prozkoumejte dostupné způsoby svařování MAG pro koutový svár a2 plechů tl. 2 mm.
3. Seznamte se s monitorováním parametrů svárů pomocí příslušenství a SW WeldMonitor a s geometrickou analýzou svárů pomocí SW NIS – elements.
4. Navrhněte a proved'te soubor experimentů dle shora uvedených podmínek.
5. Vyhodnoďte experimenty podle 3 kritérií – produktivita, možnost deformace a zajištění kvality. Formulujte dílčí závěry.



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva cca 30 stran
- grafické práce: grafy, tabulky, makrostruktury

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- [1] AWS Welding Handbook, Welding Science and Technology, 9th ed., Vol. 1, 2001
- [2] HUDEC, Z.: Optimalizace konstrukčních a technologických parametrů koutových svarů zhotovených metodou MAG, disertační práce, Liberec 2005.
- [3] Studijní materiály předmětu SPZ
- [4] Firemní literatura fy. Fronius, Migatronik, Lincoln, SKS, atd.
- [5] ONDREJČEK, : Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektoródou; Peter Ondrejček, vydal ETERNA PRESS s.r.o, Bratislava 2003, ISBN 80-968359-5-5

Prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 29. 10. 2011



ANOTACE

Předmětem bakalářské práce je výběr vhodné svařovací metody MAG pro svařování plechů tloušťky 2 a 6 mm podle stanovených kritérií. Práce porovnává koutové svary stejné velikosti, provedené jednotlivými metodami a hodnotí je podle různých kritérií kvality, zejména jednotkového vneseného tepla, tvaru, stability přenosu kovu a kritéria produktivity.

KLÍČOVÁ SLOVA: MAG, koutový svar, kvalita, produktivita.

ANNOTATION

The subject of Bc. thesis is to choose proper GMAW method for fillet welding of 2 mm and 6 mm sheets in accordance to given conditions. The work compares fillet welds of the same weld cross-sectioned area, performed with several methods and evaluates them according to quality and productivity criteria e.g. input heat, shape, weld metal transfer stability.

KEY WORDS: MAG, fillet weld, quality, productivity.



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé BP a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, které má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 6. 1. 2012

Podpis:



Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Katedra strojní technologie

Výběr technologie MAG pro svařování plechů
tloušťky. 2 – 6 mm
Jindřich Nosek

Poděkování

Tímto bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Zdeňku Hudcovi Ph.D., za odbornou pomoc při utváření této práce, za ochotu a věnovaný čas.



Obsah

Použité zkratky.....	8
Teoretická část.....	10
1. Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu MAG	10
2.1. Metalurgické reakce při svařování MAG	11
2.2. Technologické varianty svařování MAG	12
2.2.1. Svařování MAG zkratovým režimem	12
2.2.2. Svařování MAG sprchovým přenosem	12
2.2.3. Svařování MAG impulsem.....	13
2.2.4. Svařování MAG vysokovýkonnými procesy	15
2.2.5. Svařování MAG řízeným zkratem	16
2.2.6. Svařování MAG s vysokou hustotou výkonu	18
2.2.7. Svařování MAG s trubičkovým drátem s kovovou výplní	19
2.2.8. Hodnocení vad a určování stupňů jakosti koutového svaru dle ČSN EN ISO 5817	21
Experimentální část	21
1. Cíl práce	25
2. Laboratorní postup	25
3. Použité zařízení, příslušenství a spotřební materiál	27
3.1. Svařovací zdroj Sigma Migatronik 500 plus	27
3.2. Přídavný materiál.....	28
3.3. Použité ochranné plyny	28
3.4. Použitý materiál	29
4. Návrh a provedení experimentu na tloušťce 5 mm	30
4.1. Naměřené výsledky	31
4.1.1 Svařování ve zkratovém režimu – drát 1,2 mm	31
4.1.2 Svařování ve zkratovém režimu – drát 1,0 mm	32
4.1.3. Svařování v pulzním režimu – drát 1,2 mm	34
4.1.4. Svařování v pulzním režimu – drát 1,0 mm	36
4.1.5. Svařování v zrychleném zkratu – 1,2 mm	37
4.1.6. Svařování v zrychleném zkratu – 1,0 mm	39
4.1.7. Svařování zkratovanou sprchou – 1,2 mm	41
4.1.8. Svařování zkratovanou sprchou – 1,0 mm	42
4.1.9. Svařování trubičkovým drátem PZ 6102	44
5. Závěrečné porovnání technologií	46
5.1. Plechy tl. 5mm.....	46
5.2. Svařování plechů tl. 2 mm.....	50
6. Závěr.....	55
7. Použité vzorce	56
Seznam použité literatury.....	57
Příloha	



Použité zkratky:

$V_D [\frac{m}{min}]$ – rychlost drátu

$V_S [\frac{m}{min}]$ – rychlost svařování

$I [A]$ – el. proud

$U [V]$ – el. napětí

$Q_1 [kJ/cm]$ – měrné vnesené teplo

$P_M [mm^2]$ – vypočtená plocha

x – měřená velikost viz. Obr. 11

x_{MAX} – měřená velikost viz. Obr. 11

c – měřená velikost viz. Obr. 11

b – měřená velikost viz. Obr. 11

z – měřená velikost viz. Obr. 11

z_{MAX} – měřená maximální velikost viz. Obr. 11

v – nosná velikost svaru viz. Obr. 11

v_{max} – maximální nosná velikost svaru viz. Obr. 11

p – převýšení

w – šířka housenky

β – úhel přechodu svaru do základního materiálu

MAG – (metal activ gas) – svařování drátem v aktivním ochranném plynu

HiPen – svařování s vysokou hustotou výkonu

RapidArc – svařování s zrychleným zkratem

C – čistý plech

Z – zkrat

P – pulz

RA – RapidArc

H – HiPen

T – trubička

F7 – ochranný plyn Feromaxx 7

82/18 – ochranný plyn - 82% argonu a 18%CO₂

92/8 – ochranný plyn – 92% argonu a 8% CO

k_1 - koeficient propalu drátu (dle výrobce $k_1=0,97$)

k_2 – koeficient rozstříku (podle druhu přenosu kovu $k_2=0,99 - 1$)



P_S – měřená plocha svaru [mm^2]

P_N – měřená plocha návaru [mm^2]

P_M - vypočtená plocha návaru

h – účinnost přenosu tepla v oblouku (pro MAG $h=0,85$)

a_t – teoretická nosná velikost

a - měřená nosná velikost viz. Obr. 11

f_2 – účinnost tavení materiálu



Teoretická část

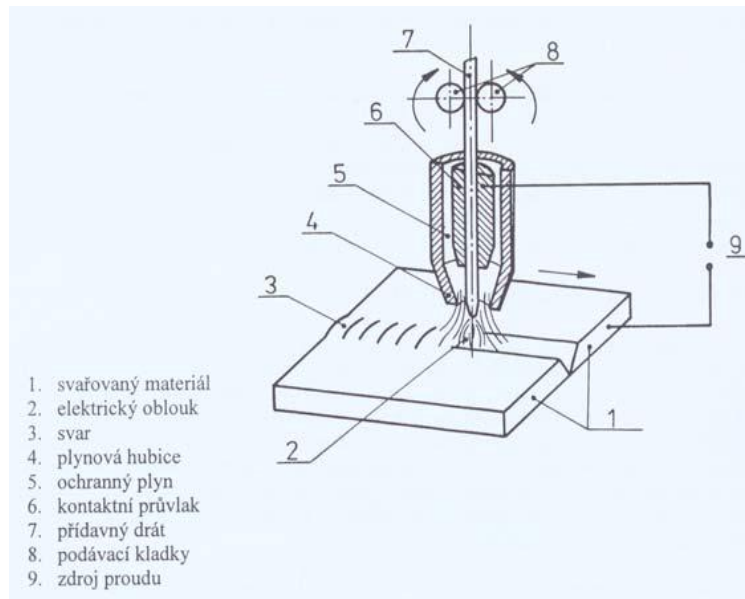
1. Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu MAG

Metoda MAG (svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu) patří v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízko legovaných ocelí. Hlavním důvodem rozšíření metody MAG je široký výběr ochranných plynů, přídavných materiálů a dále celkem snadná možnost robotizace a mechanizace, velké množství svařovacích zařízení a charakteristik pro uvedené metody svařování.

Metoda svařování MAG je založena na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základního materiálu v ochranné atmosféře aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v kontaktní špičce hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Drát je podáván podávacími kladkami umístěnými v zpravidla podavači, případně ve vlastním hořáku, nebo kombinací obou systémů, z cívky o běžné hmotnosti 15kg. Proudová hustota je u svařování MAG je nejvyšší ze všech obloukových metod a dosahuje až 600 A.mm^{-2} a svařovací proudy se pohybují od 30 A u svařování tenkých plechů drátem u průměru 0,6 – 0,8 mm, až do 800A u vysokovýkonných mechanizovaných metod. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a ochranném plynu, přičemž běžný je zkratový pro tenké plechy a sprchový pro větší tloušťky plechů. U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek se při MAG svařování pohybuje v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100 °C.

Díky vysokým proudům se svařovací rychlosti blíží hranici 150 cm.min^{-1} a rychlosti kapek přenášených obloukem přesahuje 130 m.s^{-1} .

Ochranná atmosféra se volí podle druhu svařovaného materiálu, ovlivňuje však také přenos kapek v oblouku, rozstřík, rozsah chemických reakcí a teplotní poměry v oblouku.[3]



Obr. 1 Princip svařování metodou MAG[3]

2.1. Metalurgické reakce při svařování MAG

Nejdůležitějšími metalurgickými reakcemi jsou oxidační a desoxidační pochody probíhající v kapkách tavící se elektrody a v roztaveném svarovém kovu. Tyto reakce zásadně ovlivňují tvar oblouku i povrch svarové housenky, přechod svarové housenky do základního materiálu a vnitřní čistotu svaru. Na rozsah reakcí má vliv především množství disociovaného kyslíku schopného slučování s prvky v tavenině.

Vzniklé kapky svarového kovu jsou obohaceny kyslíkem při přechodu do tavné lázně a dosahují vysoké teploty, poněvadž oxidační reakce jsou exotermické. Tyto reakce uvolňují teplo, které je difúzí vedeno do okolního materiálu a výsledkem je hlubší a oválnější svarová lázeň u svaru s ochranným plynem CO_2 , který má větší oxidační schopnost než u směsi $\text{Ar} + \text{CO}_2$, nebo v čistém Ar .

Slučováním oxidu FeO s C se tvoří bubliny CO , které jsou za určitých podmínek příčinou pórovitosti a bublinatosti svarů. To je také jeden z důvodů, proč se musí provést dokonalá desoxidace taveniny svarového kovu.

Desoxidačními prvky Mn a Si jsou přídavné materiály přelegovány v určitém poměru tak, aby vzniklá struska měla vhodnou tekutost a snadno vyplavala na povrch tavné lázně.

Doporučený poměr mezi $\text{Mn} : \text{Si}$ je cca 1,5 : 1 až 1,8 : 1 a optimální složení přídavných materiálů je: $\text{C} = 0,1\%$, $\text{Mn} = 1,7\%$, $\text{Si} = 1,0\%$. [3]



2.2. Technologické varianty svařování MAG

2.2.2. Svařování MAG zkratovým procesem

Specifickým příkladem MAG je svařování elektrickým obloukem odtavující se elektrodou v ochranné atmosféře CO_2 (oxid uhličitý).

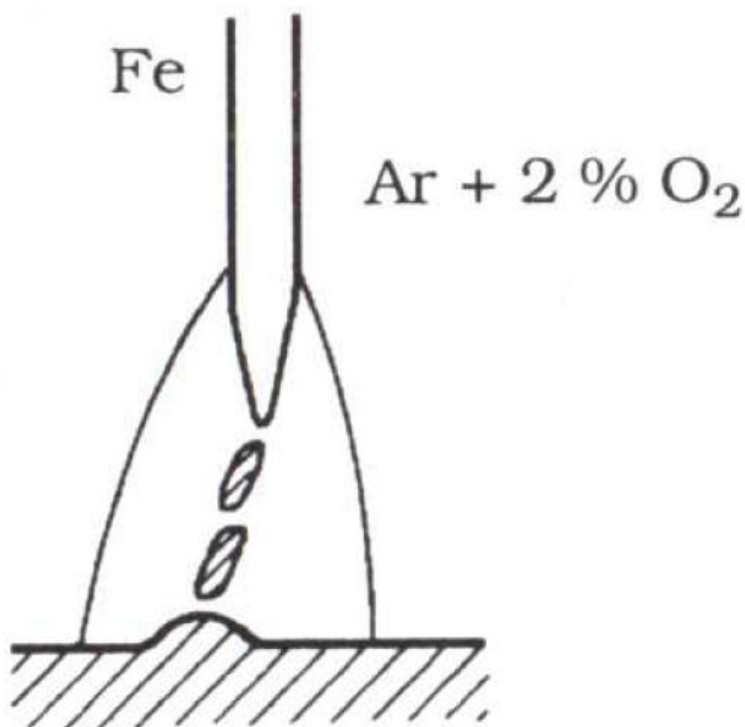
Tato metoda dnes nachází velké uplatnění v automobilovém průmyslu i při opravách karoserií automobilů. Princip svařování v ochranné atmosféře je založen na tom, že holý svarový drát svinutý v cívce, je veden přes podávací kladky do napájecího průvlastku. Napájecí průvlastek je uvnitř ochranné hubice. Přes průvlastek přechází drát do tavné lázně.

Plyn CO_2 chrání oblouk a tavnou lázeň před přístupem vzduchu. Oblouk hoří mezi elektrodou a základním materiálem. Napájecí průvlastek, tj. kudy přechází svařovací proud do elektrody, je připojen na kladný pól zdroje stejnosměrného svařovacího proudu a svařovaný (základní) materiál je připojen na jeho záporný pól.

Přechod přídavného kovu z odtavující se elektrody do tavné lázně je charakterizován vytvářením jednotlivých kapek, které musí přejít z elektrody přes mezeru do tavné lázně.[2]

2.2.2. Svařování MAG sprchovým přenosem

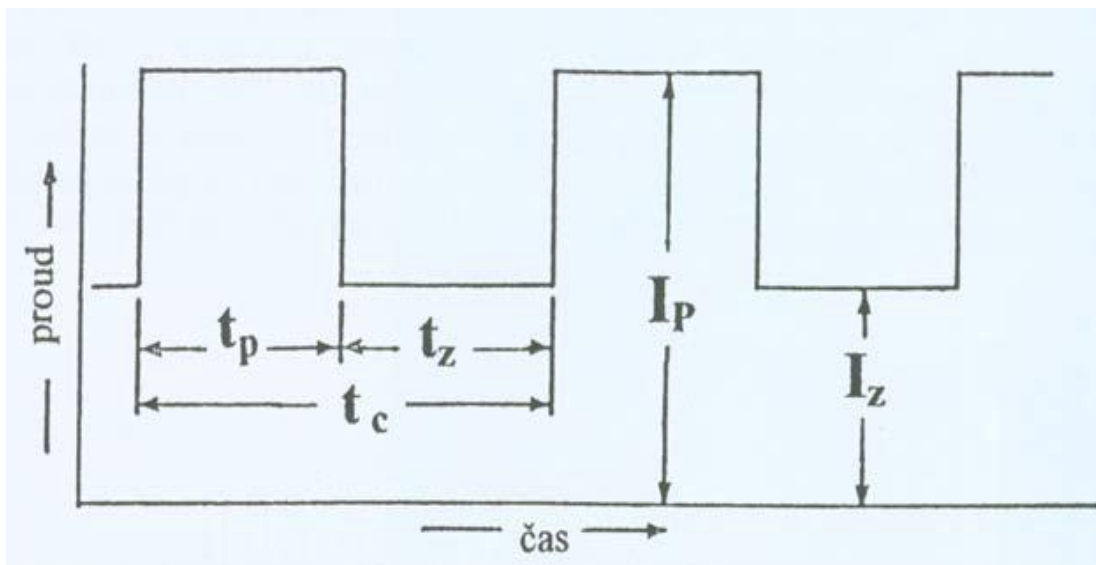
Bezzkratový druh přenosu. Kapky tekutého kovu jsou jemně rozptýleny (tvoří sprchu) a pohybují se ve směru osy elektrody. Sprchový přenos vzniká při vyšším proudu a delším oblouku (vyšším napětí). Typický pro obloukové svařování v ochranné atmosféře bohaté na argon – dosažení nejvyššího výkonu odtavení. Argon podporuje ionizaci plynu a tvorbu plazmy. Protože plazma rychle proudí okolo tavícího se konce elektrody, konec elektrody se tak rychleji ohřívá. K tomu přispívá i odporové teplo způsobené dlouhým výletem elektrody, cca 15 průměrů elektrody. Při vysokém proudu se nestačí vytvořit větší kapky, ale působením elektromagnetických sil se tvoří drobné kapky s vysokou frekvencí 150 až 350 Hz, jakoby sprcha.[5]



Obr 2 Sprchový přenos[5]

2.2.3. Svařování MAG impulsem

Jedním ze způsobů, jak realizovat kapkový přenos kovu při nízkých a středních parametrech sváření nízkouhlíkových ocelí, je aplikace impulsního svářecího procesu. Ten umožňuje rozdělit střední energii oblouku na dvě různé energetické hladiny – impuls a základ. V čase impulsu, kde svařovací impuls dosahuje kritické hodnoty, tvoří se kapky tekutého kovu a oddělují se. Po oddělení kapky, kdy se dosáhlo stavu jejího volného letu obloukem, není již potřeba setrvat na nadkritických parametrech. V tomto momentě je výhodné přejít na nízké základní svářecí parametry, na dobu, kdy odtrhnutá kapka proletí obloukem do svařovací lázně. Pomocí základních parametrů se udržuje především hořící oblouk, bez významného ohřevu elektrody a základního materiálu. Celková střední energie svářecího procesu dosahuje hodnoty klasického zkratového procesu sváření. Aplikace impulsního svářecího procesu takto vytváří rozdělením energie na dvě fáze impulsu a základu vhodné podmínky na realizaci sprchového (bezzkratového) přenosu kovu při nízkých a středních svářecích parametrech. [1]



Obr. 3 - Schématické znázornění časového průběhu svářecího proudu při impulsním svařování [3]

Základní proud I_z , jehož hodnota je všeobecně nízká (cca. 10 – 15A) zajišťuje pouze ionizaci oblasti oblouku v čase t_z . Pokud je doba základního proudu delší než dvojnásobek doby pulsu, dochází k úplnému ztuhnutí svarové lázně, což je výhodné pro svařování vysokolegovaných ocelí. Naopak v průběhu kratší doby lázeň neztuhne, ale zmenší svůj rozměr. Toho se v praxi používá při požadavku zvláště hladkého sváru s plynulým přechodem do základního materiálu.

Impulsním proudem I_p v čase t_p dochází k natavení svarové lázně a tím i přídavného materiálu. Rozměry svarové lázně definuje především hodnota amplitudy impulsního proudu a doba trvání pulsu. Tímto je dosažena velice přesná regulace svářecího režimu, dávkování, hodnoty vneseného tepla do svaru a tvarování svarové lázně. Průměrná hodnota svařovacího proudu je při impulsním svařování nižší než při klasickém způsobu svařování s konstantním proudem a proto vykazují svary i výborné plastické vlastnosti včetně nižší náchylnosti na praskání a menší deformace.

Součet časů pulsního proudu t_p a času základního proudu t_z dává celkový čas cyklu t_c určující frekvenci pulsního svařování.



Výhody impulsního svařování:

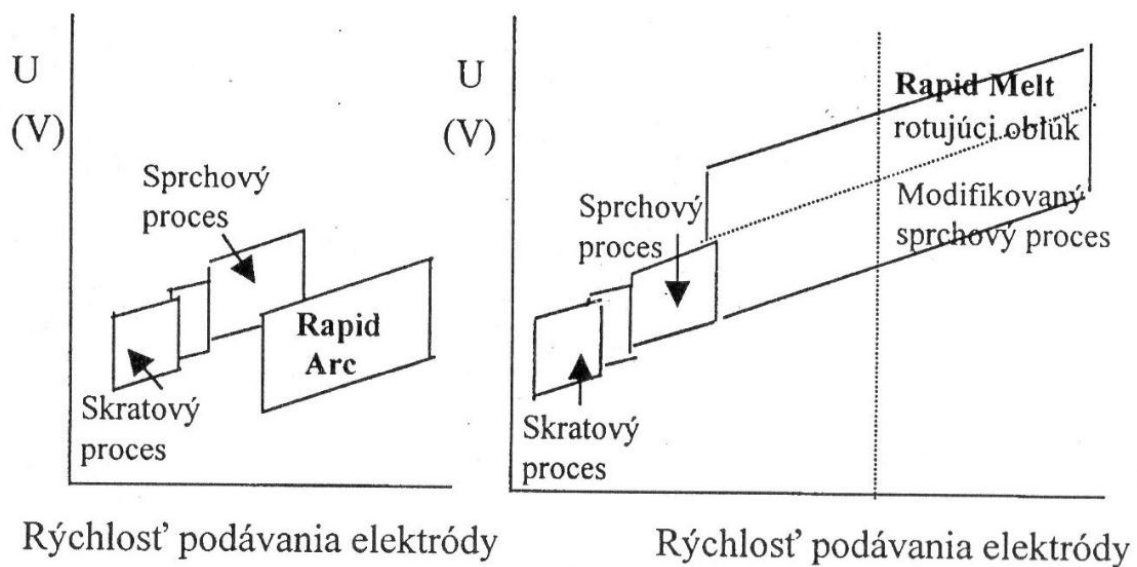
1. lepší celistvost, mechanické a plastické vlastnosti svarů
2. snížení tepelného ovlivnění a tím menší deformace
3. možnost svařování plechů tl. 0,5 – až 5 mm bez použití podložek
4. široká oblast regulace svařovacího proudu
5. velmi dobrý vzhled svarové housenky [3]

2.2.4 Vysokovýkonné procesy svařování MAG

Jiná modifikace vysokorychlostního sváření v ochranném plynu jednou elektrodou představují dvě varianty “Rapid Processing“. Nazývají se RAPID ARC a RAPID MELT, které vyvinula bývalá firma AGA AB. Oba jsou založeny na společném principu. Používají vysokou rychlost podávání drátu a to víc než 30 m/min. a uplatňují zvýšený výlet elektrody, běžně 10 až 16 mm, v tomto případě je to až 20 až 35 mm, čímž se zvýší odpor a víc se ohřeje konec elektrody. Oba faktory, vyšší výlet elektrody a vyšší rychlost jeho podávání zvyšují výkon tavení drátu. Jako ochranný plyn se používá Ar + 8% CO₂.

Při procesu RAPID ARC vzniká zkratový proces sváření a na tento proces se aplikuje rozsah vyšších proudů a nižších napětí. Pomocí moderních zdrojů proudu je oblouk donucený zkratovat i v oblasti, která se nedá použít při klasickém svařování v CO₂, resp. Ar + CO₂. Proces RAPID ARC si zachovává výhody zkratového procesu, které se s výhodou používají hlavně při sváření tenkých plechů. Minimální hloubka plechu je v tomto případě 2 mm.

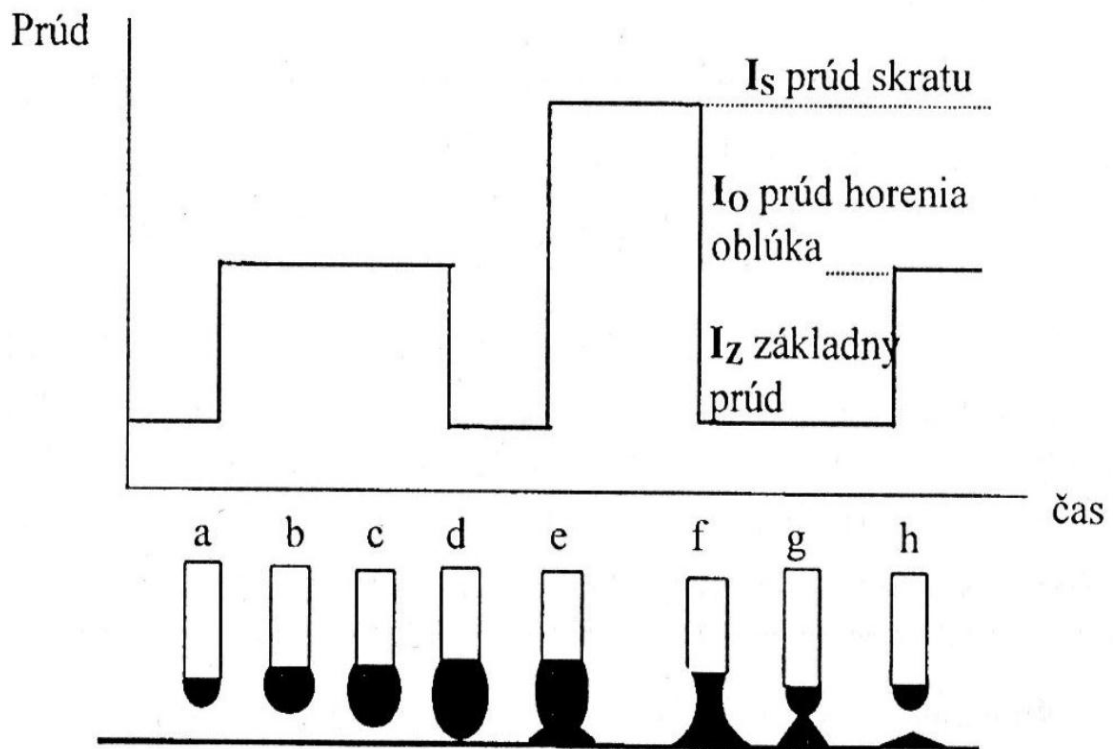
Proces RAPID MELT se naopak uplatňuje při sváření vyššími proudy a napětími, přičemž rychlost podávání elektrody může být víc jak 30 m/min. Podle zvoleného napětí může vzniknout přenos kovu rotačním obloukem (oblast vyššího napětí) nebo moderovaným sprchovým procesem (oblast nižšího napětí). V obou případech je možné získat výkon natavení až 20 kg/h. Proces RAPID ARC má v porovnání s konvečním GMAW nižší tepelný příkon. Proto je menší teplem ovlivněná oblast a jsou i menší deformace. Naopak proces RAPID MELT má větší tepelný příkon, pomalejší chladnutí, ale i nárůst velikosti a pokles plasticity v teplem ovlivněné oblasti.[1]



Obr. 4 - Proces Rapid Melt a Rapid Arc [1]

2.2.5. Sváření MAG řízeným zkratem [1]

Klasický zkratový proces je proměnlivý proces. Množství kovu elektrody přenášeného do lázně po dobu každého zkratu se může měnit. Vyplývá to hlavně z času hoření oblouku, v kterém kapka narůstá. Například, jak se přenáší větší množství kovu, kdy je potřebné prodloužení času hoření oblouku, kde proces potřebuje jistý čas, aby se vrátil do původní frekvence. Pokusy dosáhnout fixní frekvence zkratu pulzujícím přívodem proudu a napětí byly neúspěšné kvůli náhodným výskytům netypických zkratů.



Obr. 5 - Schéma řízeného zkratového procesu – průběh proudu [1]

Velikost kapky se řídí objemem nataveného kovu ve fázi hoření oblouku (a, b, c, d) buď výškou proudu, nebo časem hoření oblouku. Fáze zkratu (e, f) se řídí výškou zkratového proudu a časem trvání zkratového proudu. Existuje více možností, jak řídit proud po dobu zkratu, které jsou založené na těchto principech:

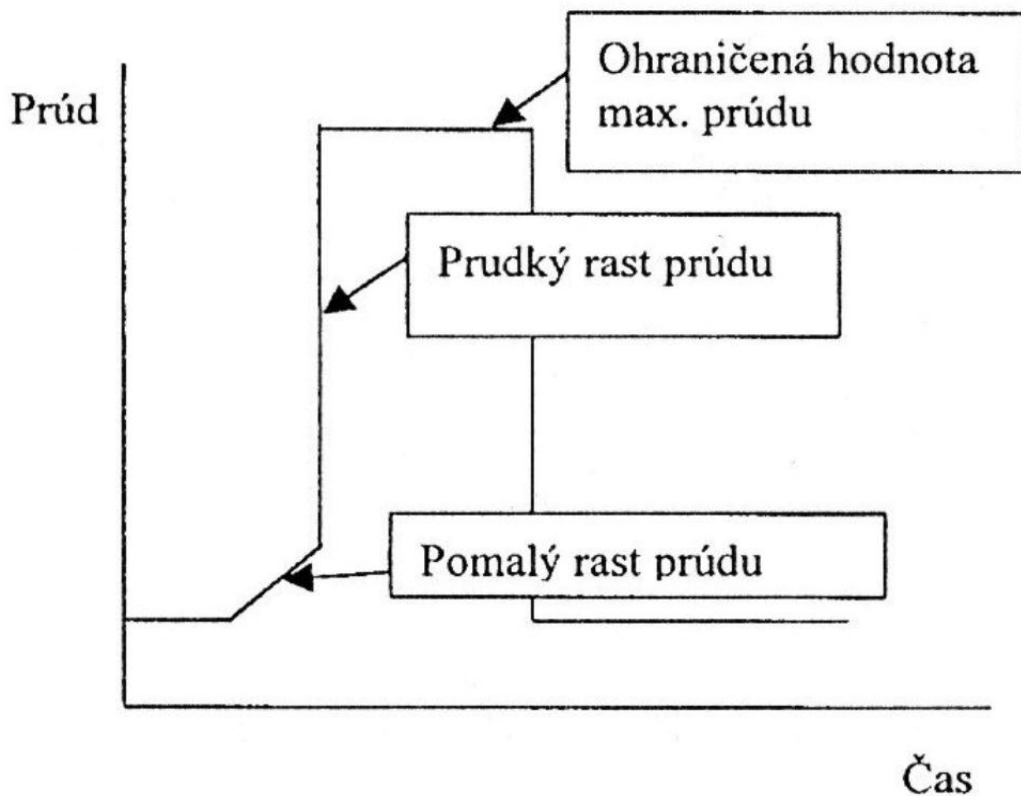
+ ideální vztah mezi zkratovým proudem a časem zkratu je $I_s \cdot t_s = S$

kde I_s je proud zkratu

t_s je čas trvání zkratu

S je konstanta zkratu

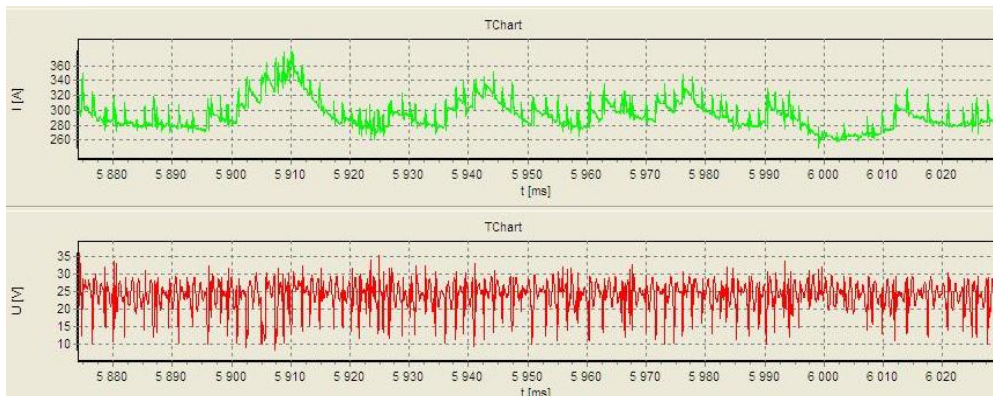
- + výšku zkratového proudu je třeba limitovat, aby se snížil rozstřík
- + v první fázi zkratu by měl mírně nastartovat zkratový proud.



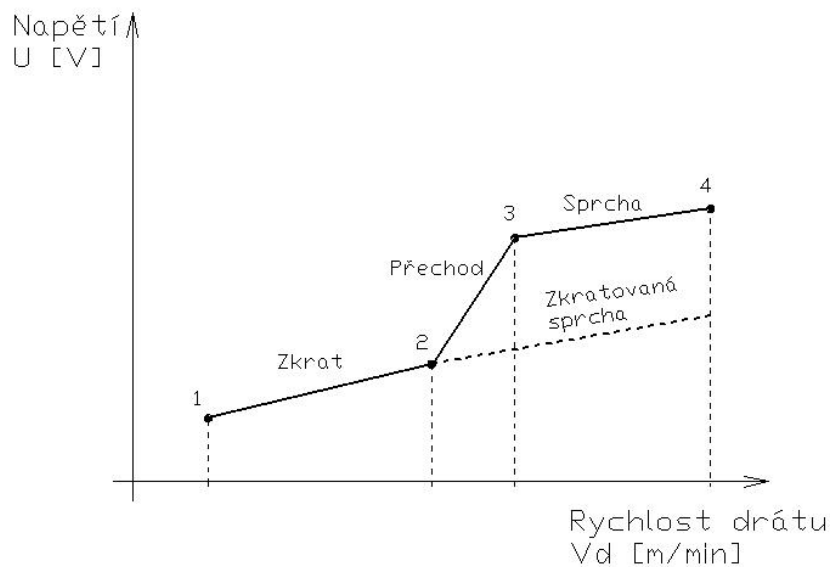
Obr. 6 Ideální průběh proudu řízeným zkratem při přenosu kovu [1]

2.2.6. Svařování MAG s vysokou hustotou výkonu (metodou HiPen)

S využitím moderních invertorových zdrojů s řídicí frekvencí 50 kHz bylo možno snížit napětí a výlet drátu v oblasti sprchového přenosu kovu až dochází ke zkratování jednotlivých drobných kapek sprchy, což je patrné na záznamu z monitorování procesu, kde možno napočítat přes 600 zkratů za sec. Tato zkratovaná sprcha způsobuje hluboký závar a umožňuje svařovat vyšší rychlostí než v oblasti klasické sprchy. Vlivem nižšího napětí vnáší do svaru i méně měrného tepla. [4]



Obr.7- Průběhy proudu a napětí – laboratoř TUL



Obr. 7 Charakteristika svařování metodou zkratovaná sprcha [4]

2.2.7. Svařování MAG trubičkovým drátem s kovovou náplní (FCAW)

Při FCAW se pracuje s plněnou elektrodou (trubičkovým drátem), která je tvořena páskou svinutou do kruhového průřezu nebo tenkostěnnou trubičkou, s vnitřní náplní tavidla, případně kovového prášku, případně i s potřebnými legurami. Oproti plnému drátu lze u plněné elektrody docílit různým složením plniva i potřebných operativních svařovacích vlastností i různých vlastností svarového kovu.

PZ 6102 – Plněná elektroda s náplní kovového prášku pro svařování ocelí střední a vyšší pevnosti. Je především určena pro svařování dílů z tenkých plechů (>3 mm) z ocelí s mezí kluzu do 460 MPa ve všech polohách kromě polohy shora dolů. Právě pro dobrou stabilitu oblouku je vhodná i pro ručně prováděné tvarové svary a kořenové housenky.

PZ 6113 – Plněná elektroda s rutilovou náplní pro svařování ocelí střední a vyšší pevnosti ve všech polohách do pevnosti 620 MPa. Je velmi vhodná pro výrobu nejrůznějších ocelových konstrukcí, nádrží i při svařování potrubí.

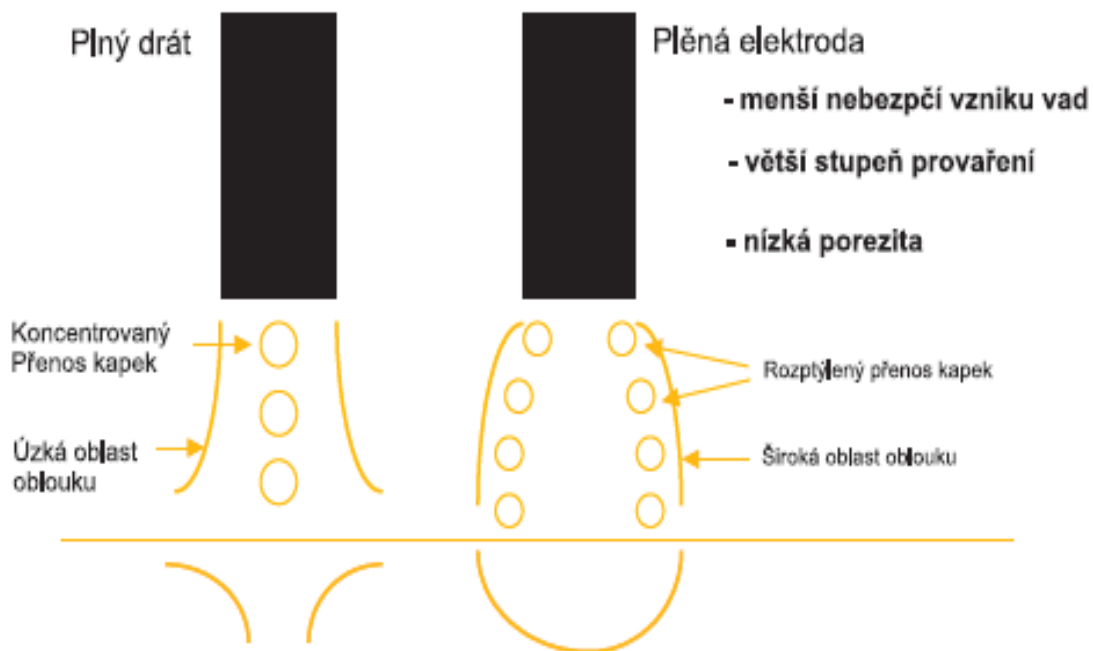
PZ 6125 – Plněná elektroda nové generace s bazickou náplní pro produktivní svařování tlustých plechů a jiné svařence s vysokými požadavky na mechanické vlastnosti spoje a jeho kvalitu až do teplot okolo – 60°C. Pro speciální charakteristiku



oblouku je nutné použít směsného plynu. Svařování ve všech polohách je možné do průměru 1,2 mm.

OK Tubrod 14.11 1,2 mm – Je první z nové generace trubičkových drátů, založených na moderní povrchové technologii ESABu a byl vyvinut pro svařování tenkých plechu o tloušťce 1 mm zejména pro automatizované a robotizované svařování.[6]

Rozdíl v přenosu kovu

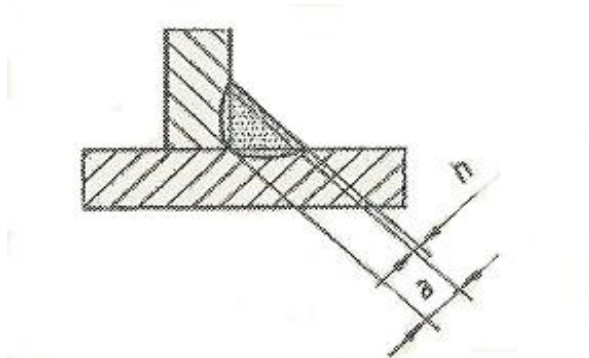


Obr. 8 Rozdíl technologií [7]



2.2.8. Hodnocení vad a určování stupňů jakosti koutového svaru dle ČSN EN ISO 5817 [11]

Překročení

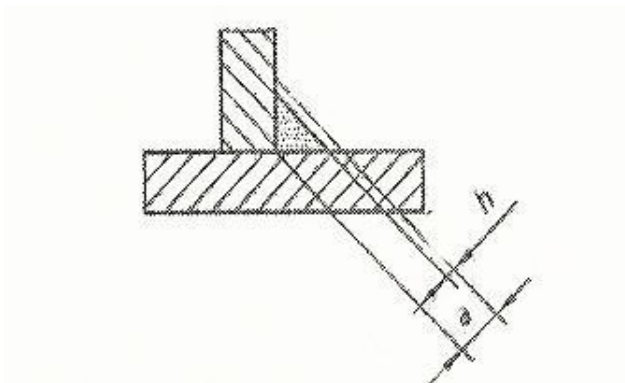


Obr. 9 Překročení

Tab. 1 Mezních hodnot vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	neomezeno	$h \leq 1 + 0,2a$, max 4	$h \leq 1 + 0,15a$, max 3

Podkročení



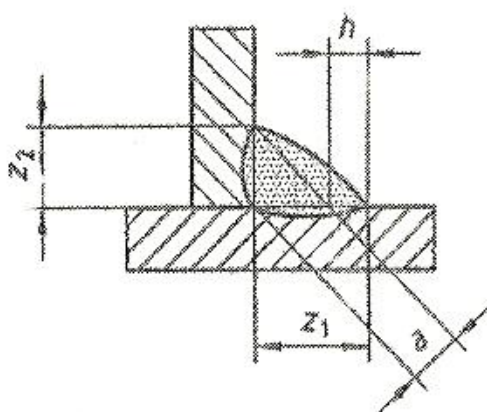
Obr. 10 Podkročení



Tab. 2 Mezních hodnot vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
0,5 až 3	$h \leq 0,2 + 0,1a$	$H \leq 0,2$	nepřístupné
> 3	$h \leq 0,3 + 0,1a$, max 2	$h \leq 0,3 + 0,1a$, max 1	nepřístupné

Jen v případech, kde nebyl předepsán symetrický koutový svar.



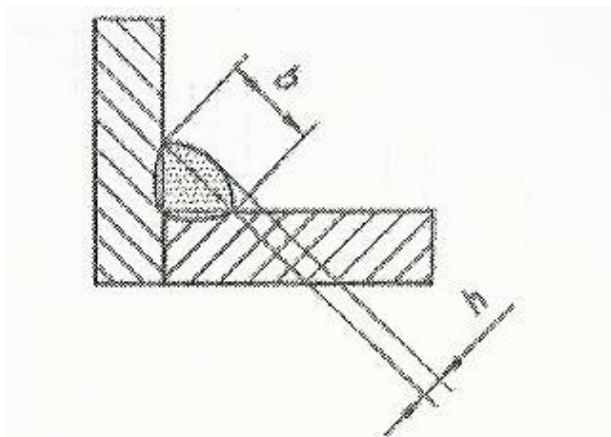
Obr. 11 Nadměrná asymetrie koutového svaru

Tab. 3 Mezních hodnot vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	$h \leq 2 + 0,2a$	$h \leq 2 + 0,15a$	$h \leq 1,5 + 0,15a$



Nadměrné převýšení koutového svaru

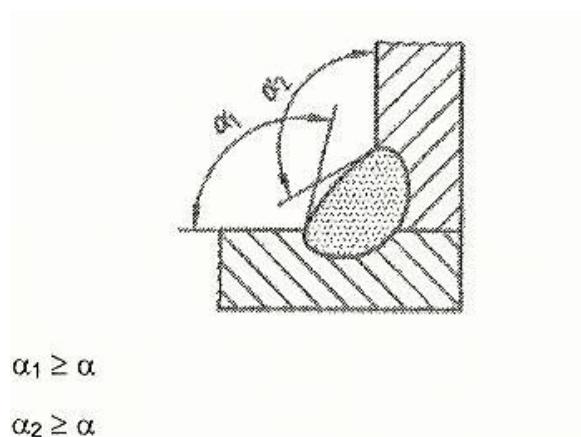


Obr. 12 Nadměrné převýšení koutového svaru

Tab. 4 Mezních hodnot vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	$h \leq 1 + 0,25b$, max 5	$h \leq 1 + 0,15b$, max 4	$h \leq 1 + 0,1b$, max 3

Strmý přechod svaru



Obr. 13 Strmý přechod svaru



Tab. 5 Mezních hodnot vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
≥ 0,5	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$



Experimentální část

1. Cíl práce

Podstatou bakalářské práce je porovnání různých svařovacích metod svařování MAG tavící se elektrodou v ochranném plynu. Byl svařován plech 5 mm, na který byly použity metody: zkratem, pulzem, zrychleným zkratem (RapidArc), zkratovanou sprchou (HiPen) a trubičkovým drátem s kovovou náplní. Pro plechy tl. 2 mm byly kromě uvedených metod ještě použity speciální metody tvarování zkratového a pulzního přenosu kovu včetně řízení podávání drátu.

Byly prováděny svary stejné velikosti – pro plech tl. 5 mm koutové svary a4 a pro plech tl. 2 mm koutové svary a2.

Postup práce:

Ve svařovně se plechy nabodovaly, v laboratoři svařily, ve svařovně se plechy nařezali kyslíkem a vyhodnotily na daném strojním příslušenství. Tyto experimenty se hodnotily podle tří kritérií – produktivita svařování, sklon k deformaci a zajištění kvality.

Vyhodnotil se monitorovaný záznam monitorovacím příslušenstvím SW WeldMonitor, zhodnotil se povrch koutového svaru vizuálně a dále pak pod mikroskopem a geometrickou analýzou pomocí SW – NIS – elements.

Nakonec se vyhodnotilo, která z metod je nejvhodnější pro danou tloušťku plechu.

2. Laboratorní postup

Příprava:

Nejdříve se v dílnách připravil potřebný počet plechů, které se obrousily, pásnice uprostřed a hrana stojny .

V dalším kroku se oba plechy nastehovaly svářečkou WIG na obou koncích podle kovové šablony, aby vznikl pravý úhel, protože při svařování dochází k deformacím.

Svařování:

Sestehovaný vzorek se vložil do polohovacího přípravku a nastavil úhel svařování – zpravidla 45° nebo 30° od pásnice. Osa přípravku se srovnala s osou dráhy lineárního automatu. Nastavil se úhel hořáku, případně jeho excentricita a vzdálenost kontaktní špičky od povrchu. Potom se nastavily parametry svařování – rychlost drátu, rychlost svařování, napětí na prázdnou a průtokové množství ochranného plynu. Nakonec se uvedlo do pohotovosti monitorovací zařízení. Při vlastním svařování se pouští odděleně



nejprve lineární automat, pak monitorování a nakonec oblouk. Při dokončení svaru se vypíná v obráceném pořadí. Po svaření se vzorek označil číslem, v souladu s číslem záznamu a provedlo se první zhodnocení svaru – vizuálně a zhodnocení záznamu monitoru. Podle naměřených hodnot průměrného proudu, napětí a rychlosti svařování a podle vzhledu svaru se vzorek zařadil mezi vyhodnocované nebo se po korekci parametrů provedl stejný svar znovu.

Příprava vzorku pro metalografii a její provedení:

Nejprve se odřezal přebytečný plech kolem svaru kyslíko-acetylenovým plamenem.

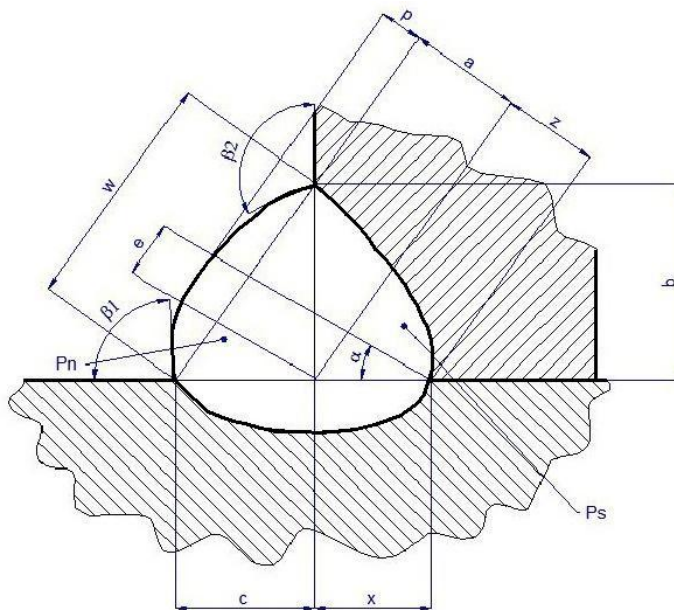
Zbýlý svar se označil a ve střední části vyřízl cca 20 mm vzorek, který se po odstranění nečistot a špon zalil ve formě do dentacrylu. Vzorky se potom metalograficky zpracovaly předepsaným postupem broušení, leštění a leptání (obr. 10).



Obr. 14 Rotační bruska na vzorky Phoenix 4000 – laboratoř TUL

Makrostruktura svaru se dále pomocí optického mikroskopu s nastaveným minimálním zvětšením 1 : 10 pomocí kamery přenesla do programu NIS-Elements, ve kterém se provedla kompletní geometrická analýza svaru dle obr. 11, a hodnoty se zpracovaly do tabulek. Později byly některé větší svary znovu sejmuty s využitím nástavce mikroskopu, který umožnil menší zvětšení.

V rámci zpracování tabulek byly vypočteny výsledné hodnoty jako kritéria pro porovnání technologií.



Obr. 15 Jednotlivé měřené rozměry svaru – laboratoř TUL

3. Použité zařízení, příslušenství a spotřební materiál

3.1. Svařovací zdroj Migatron Sigma 500 pulse

Svařovací zdroj Sigma je určený pro technologii svařování MIG/MAG, MIG impuls i MMA. Zdroj je postaven na invertorové technologii, která svou pružností a rychlostí odezvy parametrů předbíhá standardní skokově řízené zdroje. Snímatelný podávací systém zvyšuje akční rádius v závislosti na délce mezikabelu. Rozšířený Puls panel umožňuje nastavení primárních a sekundárních svařovacích parametrů. Možnost volby specifického programu v závislosti na daném typu materiálu, ochranného plynu a průměru svařovacího drátu a volbu svařování impulsním přenosem. Mimo jiné Puls verze umožňuje stehování, nastavení 9 sekvencí, svařování funkcí DUO Plus. Volbu nastavení parametrů podle tloušťky svařovaného materiálu a deklaraci aktuálních parametrů během svařování. Zdroj je primárně určen pro oblast těžkého průmyslu. [8]



Technická data	
Napájecí napětí	3 x 400V ±15%
Pojistky	32 A
Příkon naprázdno	40 VA
Proud činný	25,8 A
Příkon maximální	31 kVa
Napětí naprázdno	83 A
Proudový rozsah	15 - 500 A
Zatěžovatel 20°C 100%	475 A
Zatěžovatel 20°C 70%	500 (80%) A
Zatěžovatel 40°C 100%	420 A
Zatěžovatel 40°C 60%	450 A
Zatěžovatel 40°C 40%	500 (55%) A
Rychlost podávání	0,5 - 24 m/min
Průměr drátu	0,6 - 2,4 mm
Max. průměr cívky	300 mm
Vodní chlazení	True
Třída ochrany	IP23
Hmotnost	86 kg
Rozměry d x š x v	119 x 54,5 x 120 cm



Obr. 17 Migatron Sigma 500 pulse [8]

Obr. 16 Technická data svařovacího zdroje [8]

3.2. Přídavný materiál

Drát plný, hlazený **ESAB OK Aristorod 12.50, Ø 1,2 mm**, poměděný svařovací drát nové generace je určený pro svařování většiny běžných nelegovaných konstrukčních ocelí především tam, kde jsou vyžadovány vysoké svařovací parametry a nejvyšší podávací rychlosti drátu, tj. na mechanizovaných a robotizovaných pracovištích.

Technické parametry: doporučený svařovací proud : 120 - 380 A, chemické složení drátu: C 0,1; Si 0,9 ; Mn 1,5, mez kluzu 470 MPa, pevnost 560 MPa, tažnost 26%, rychlost podávání 2,5 -15 m/min výkon navaření kg svar. kovu/hod, hoření oblouku 1,3-8 [9]

3.3. Použité ochranné plyny

Plyn Ferromaxx 7

Je tříložková směs plynu firmy AIRPRODUCTS. Plyny jsou v poměru 7% CO₂, 2,5% kyslíku a 90,5% argonu. Směs je speciálně určená pro svařování uhlíkových ocelí a galvanicky pokovených ocelových plechů.



Umožňuje zlepšení kvality svaru a snížení zmetkovitosti, poskytuje stabilní oblouk, zejména při nízkých napětích u tenkých a středně silných materiálů (do tloušťky 10 mm) a pro svařování v polohách.

Díky nízkému rozstříku se zkracuje doba čištění po svařování. Vynikající charakteristiky pulzního oblouku. [6]

Plyn Ferromaxx Plus

Je tříložková směs plynu od stejného výrobce jako předchozí plyn. Plyny jsou v poměru 68% Ar, 12% CO₂, 20% He. Směs je určena pro svařování konstrukční uhlíkové oceli.

Zlepšuje kvalitu svaru a omezuje riziko vzniku vad, zajišťuje hluboký průvar a není příliš citlivý na nastavení parametrů při svařování. Má až o 19% vyšší rychlost ručního svařování v porovnání s běžnými směsnými plyny Ar/CO₂.

Hladký a plochý povrch svaru díky sníženému rozstříku. Použitelnost pro všechny tloušťky základního materiálu a druhy přídavných svařovacích materiálů (plné i trubičkové dráty).

Jako ochranné plyny pro metodu **MAG** se používá čistý plyn oxid uhličitý CO₂, nebo v současnosti častěji používané vícesložkové směsné plyny se základem argonu – Ar + CO₂, Ar + O₂, Ar + CO₂ + O₂ a Ar + He + CO₂ + O₂.

Plyn Euromix M21

Univerzální plyn, vhodný pro svařování různých tlouštěk materiálu s dostatečným průvarem a kvalitou povrchu svaru. Složení: A: 82% argonu a 18% oxidu uhličitého

B: 92% argonu a 8% oxidu uhličitého [10]

3.4. Použitý materiál

Pro všechny prováděné experimenty byl dodán firmou Bombardier – mikrolegovaná ocel, (S 355). Jedná se o ocel vyšší pevnosti, nižší hmotnosti z hlediska použití a setrvačnosti na únavově namáhané dopravní prostředky, např. železniční vagóny.



4. Návrh a provedení experimentů

Návrh experimentů byl směřován do oblasti zkratu, pulzu, zrychleného zkratu, zkratované sprchy a použití trubičkového drátu. Při experimentech byl použit zdroj SIGMA 500 a dráty plné ESAB Aristorod 12.50 pr. 0,8, 1,0 a 1,2 mm a trubičkové PZ 6102 a 14.11 pod ochranným plynem dle použitého režimu – dvousložkové Ar/CO₂ 82/18, 92/8 a třísložkové Ferromaxx 7 a Ferromaxx Plus.

Svary byly posouzeny z hlediska 3 kritérií:

1. Produktivita – rychlost svařování V_s násobená nosnou velikostí svaru $V_s \cdot v$

2. Náchylnost k deformaci – vnesené měrné teplo Q_1 , poměrné vnesené teplo k nosné velikosti svaru Q_1/v , zředění D a účinnost tavení materiálu f_2

3. Kvalita svaru – odvozením z požadavků normy EN ISO 5817 (viz úvod kap. 3) byly navrženy následující ukazatele jakosti:

poměr stran b/c , poměr převýšení k šířce svaru p/w , úhly přechodu svaru do materiálu β , poměr skutečné a teoretické velikosti svaru a/a_t

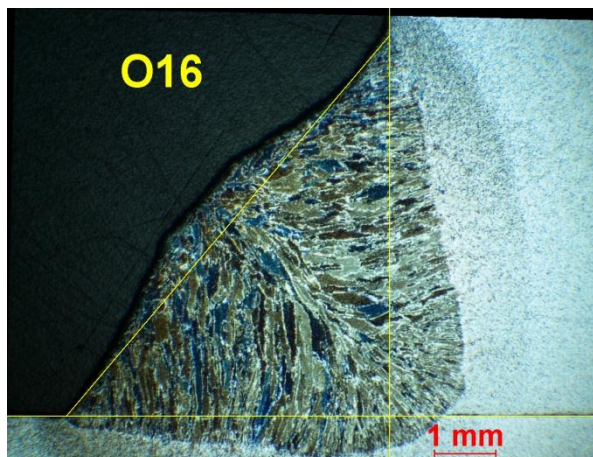


4.1. Naměřené výsledky svařování plechu 5 mm

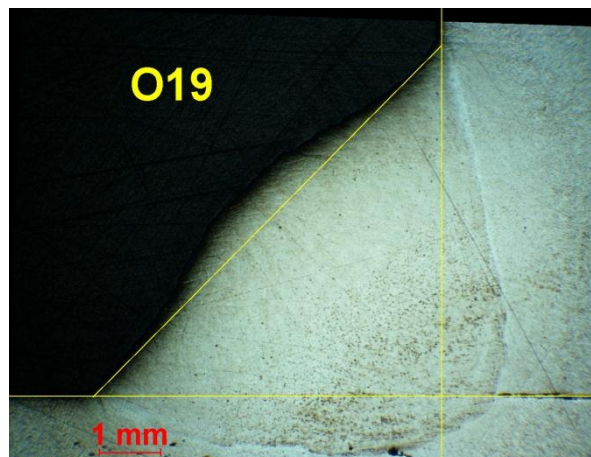
4.1.1. Svařování ve zkratovém režimu drátem 1,2

Plechů tl. 5 mm – použit drát 1,2 mm a plyny 82/18 a F7

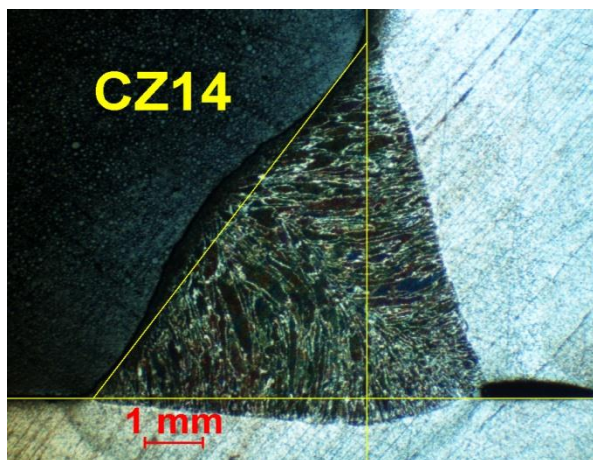
Drát 1,2 - O16, O19 = CZ14 = Z14



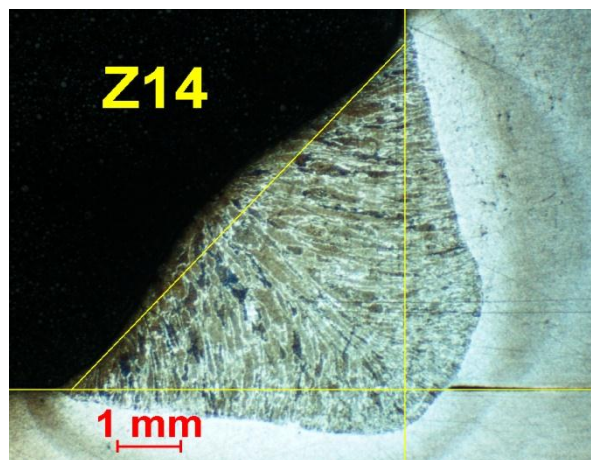
Obr. 18– Svar O16



Obr. 19 – Svar O19



Obr. 20 – Svar CZ14



Obr. 21 – Svar Z14



Tab. 7 - Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita			
Zkrat	Drát	Vd	Vs	I	Q1	z _{max}	v _{max}	Pm	a	Vs*v	Q ₁ /v	D	f ₂	c/b	β	p/w	a/a _t
O16	1,2Z18	7,0	0,452	245	6,8	0,67	4,63	16,10	4,0	2,093	1,47	0,293	11,70	0,87	127-140	0,075	1,0
O19	1,2Z7	7,0	0,453	240	7,9	0,66	4,62	16,10	3,9	2,066	1,74	0,313	10,70	1,00	132-133	0,075	1,0
CZ14	1,2P5F7	7,0	0,436	244	8,3	1,45	5,33	16,70	3,9	2,324	1,56	0,340	11,50	0,74	127-143	0,061	1,0
Z14	barva	7,0	0,445	238	8,0	0,54	4,54	16,40	4,0	2,020	1,76	0,291	9,70	0,88	132-132	0,036	1,0

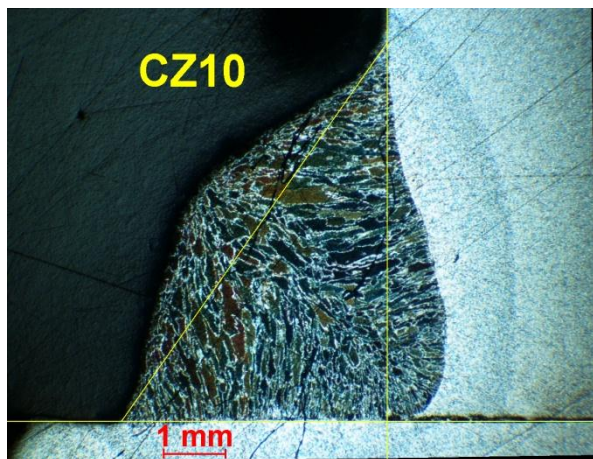
Diskuse:

Z uvedených svarů, které byly svařovány přibližně stejnými parametry, byl svar O16 svařován pod ochranným plynem 82/18 a ostatní 3 pod tří-složkovou směsí F7. Výsledky jsou srovnatelné ve všech ukazatelích. Výraznější rozdíl je ve vyšší produktivitě svaru CZ14, která byla docílena hlubším závarem, zřejmě vlivem mírné excentricity dráhy hořáku, takže při stejné ploše svaru byla docílena nosná velikost v5 místo požadované v4. Požadovaná hodnota a4 byla u všech svarů dodržena. Neprokázal se rozdíl ve vlivu použitých plynů.

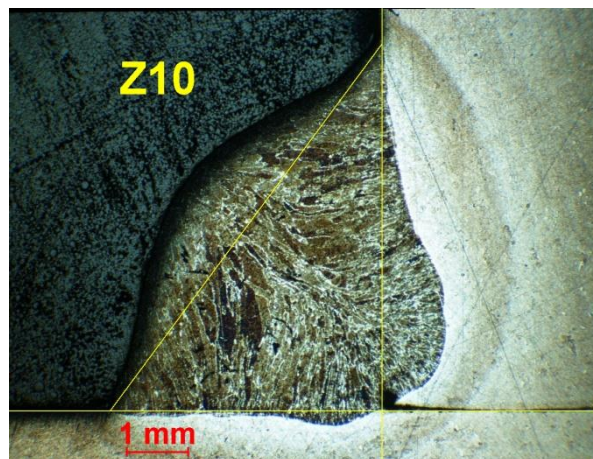
4.1.2. Svařování ve zkratovém režimu drátem 1,0

Plechý tl. 5 mm – použit drát 1,0 mm a plyn F7

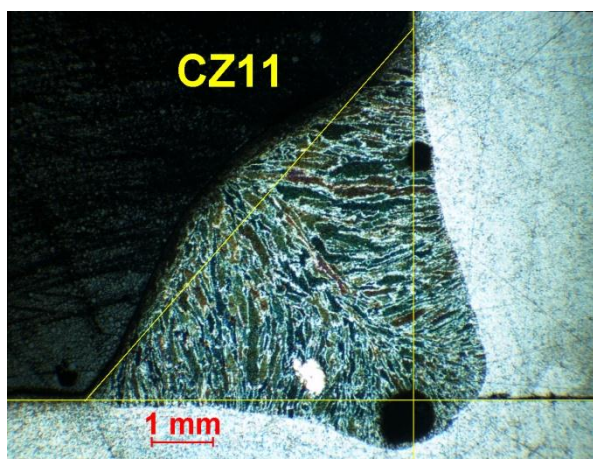
Drát 1,0 – CZ10 = Z10, CZ 11 = Z11 = CZ12



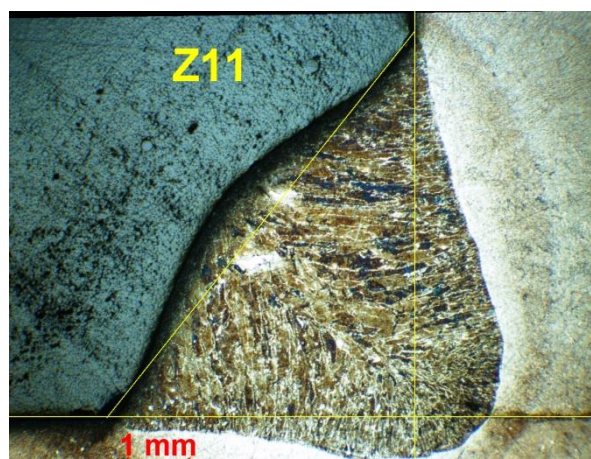
Obr. 22 – Svar CZ10



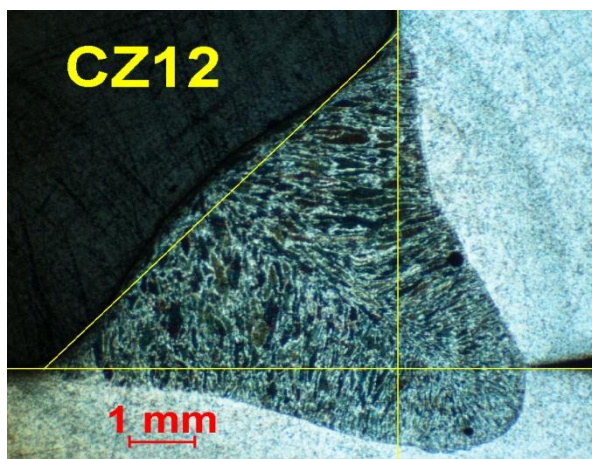
Obr. 23 – Svar Z10



Obr. 24 – Svar CZ11



Obr. 25 – Svar Z11



Obr. 26 – Svar CZ12

Tab. 8 - Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita			
Zkrat	Drát	Vd	Vs	I	Q1	z _{max}	v _{max}	P _m	a	V _s *v	Q ₁ /v	D	f ₂	c/b	β	p/w	a/a ₁
CZ10	1,0P5F7	8,9	0,405	222	7,0	0,00	3,50	15,80	3,5	1,418	2,00	0,168	5,20	0,72	115-139	0,151	0,9
Z10	barva	8,9	0,414	220	6,8	0,00	3,50	15,50	3,5	1,449	1,94	0,176	5,60	0,76	113-134	0,151	0,9
CZ11	1,0P5F7	12,2	0,540	254	6,8	0,77	4,68	16,30	3,9	2,527	1,45	0,220	8,10	0,91	132-140	0,089	1,0
Z11	barva	12,2	0,540	254	6,8	0,93	4,79	16,30	3,8	2,587	1,41	0,302	11,90	0,82	125-140	0,089	0,9
CZ12	1,0P5F7	14,0	0,651	277	6,7	2,01	6,04	15,50	4,0	3,567	1,23	0,367	16,10	0,91	134-136	0,049	1,0



Diskuse:

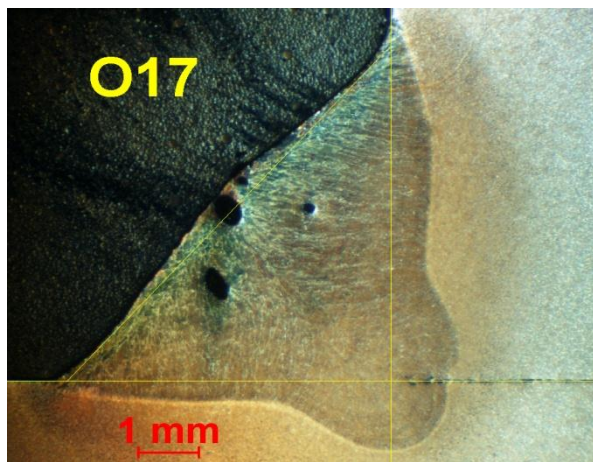
Při svařování drátem 1,0 mm byl sledován vliv intenzity procesu. Produktivita s intenzitou svařování jednoznačně stoupá, protože vedle rychlosti svařování stoupá i hloubka závaru, takže neproduktivnější je poslední svar CZ12, který už je na přechodu do zkratované sprchy. Sklon k deformaci naopak s intenzitou svařování klesá. Dokonce proti předpokladu i v ukazatelích kvality svaru je svar CZ12 nejlepší.

Při porovnání svařování drátem 1,2 a 1,0 mm vychází nejlépe ve všech ukazatelích svar CZ12, ale jen zásluhou vyšší účinnosti tavení vlivem vyšší intenzity. Pro objektivní porovnání bychom museli provést i svařování drátem 1,2 při vyšší intenzitě, tedy v oblasti přechodu do sprchového nebo hlubokozávarového režimu.

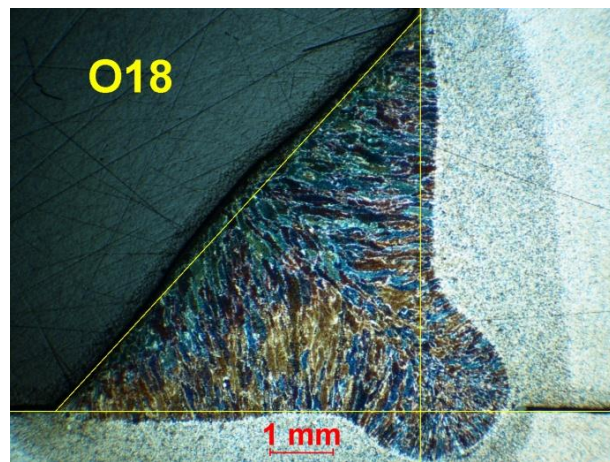
4.1.3. Svařování pulzem drátem 1,2 mm

Plechý tl. 5 mm – použit drát 1,2 mm a plyny 92/8 a F7

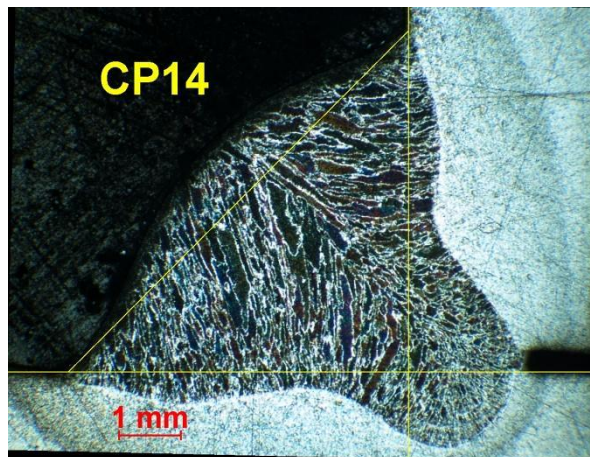
Drát 1,2 - O17, O18=CP14



Obr. 27 – Svar O17



Obr. 28 – Svar O18



Obr. 29 – Svar CP14

Tab. 9 - Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita			
Pulz	drát	Vd	Vs	I	Q1	Z _{max}	v _{max}	Pm	a	Vs*v	Q ₁ /v	D	f ₂	c/b	β	P/w	a/a ₁
O17	1,2P7	7,0	0,452	263	8,1	1,11	5,14	16,10	4,13	2,156	1,70	0,307	10,10	0,88	132-140	0,036	1,0
O18	1,2P8	7,0	0,455	271	9,6	1,04	5,30	16,00	4,25	2,412	1,81	0,210	5,60	0,92	130-134	0,035	1,0
CP14	1,2P5F7	7,0	0,452	269	9,6	1,54	5,40	16,10	3,86	2,310	1,87	0,307	9,20	1,02	133-131	0,117	1,0

Diskuse:

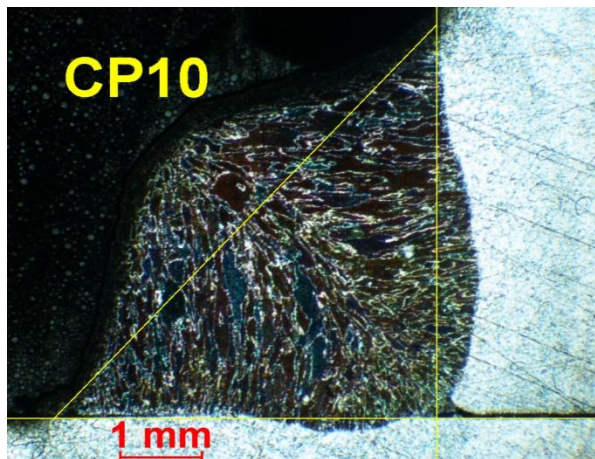
Z uvedených svarů, které byly svařovány přibližně stejnými parametry a drátem 1,2 mm, byl svar O17, O18 pod ochranným plynem 92/8 a CP14 pod tří-složkovou směsí F7. Na makru svaru O17 jsou patrné bubliny a má nepatrně nižší produktivitu svařování a nejméně vneseného tepla Q1. Svar CP14 má vyšší produktivitu a největší závar, vyšší účinnost tavení, než svar O18o, ale největší sklon k deformaci. Požadovaná velikost a₄ je zachována u všech svarů. Větší hloubka závaru a vyšší účinnost tavení svaru CP14 může být způsobena větší účinností přenosu tepla plynem F7, což potvrzují nízké hodnoty zředění a účinnosti tavení u svaru O18, zhotoveném pod atmosférou 92/8.



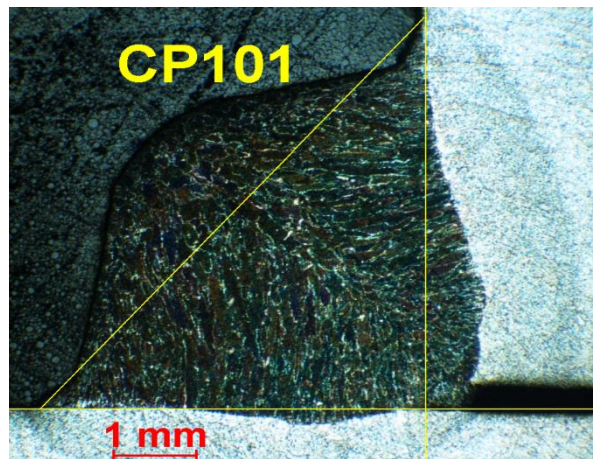
4.1.4 Svařování pulzem drátem 1,0 mm

Plechý tloušťky 5 mm – použit drát 1,0 mm

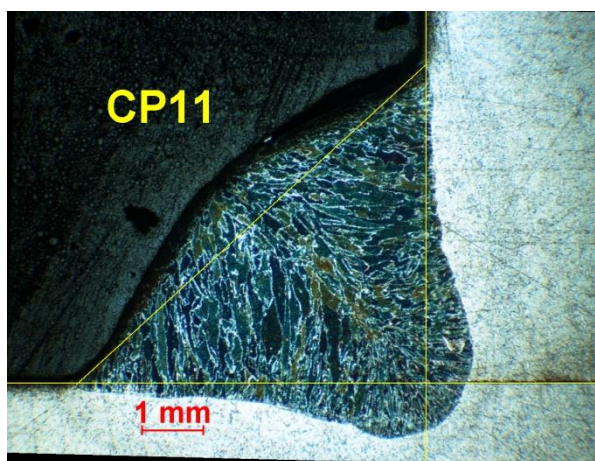
Drát 1,0 – CP10 = CP101 , CP11 = P11



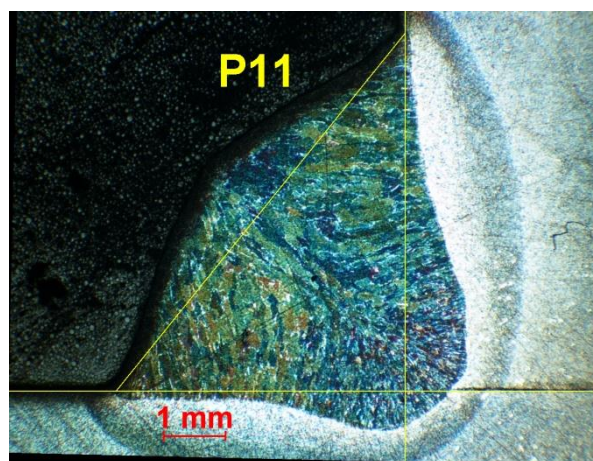
Obr. 30 – Svar CP10



Obr. 31 – Svar CP101



Obr. 32 – Svar CP11



Obr. 33 – Svar P11

Tab. 10 - Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita			
Pulz	Drát	Vd	Vs	I	Q1	Z _{max}	V _{max}	P _m	a	Vs*v	Q _{l/v}	D	f ₂	c/b	β	p/w	a/a _i
CP10	1,0P5F7	8,9	0,412	233	6,8	0,00	3,45	15,60	3,45	1,421	1,98	0,108	3,10	0,91	126-122	0,186	0,9
CP101	1,0P58	8,9	0,413	241	7,0	0,00	3,33	15,50	3,33	1,375	2,10	0,136	3,90	0,89	127-127	0,239	0,80
CP11	1,0P58	12,2	0,560	249	6,3	0,64	4,40	15,70	3,77	2,358	1,51	0,214	7,90	1,12	134-118	0,105	1,0
P11	barva	12,2	0,544	247	6,5	0,58	4,18	16,10	3,59	2,274	1,56	0,220	7,90	0,83	127-139	0,135	0,9



Diskuse:

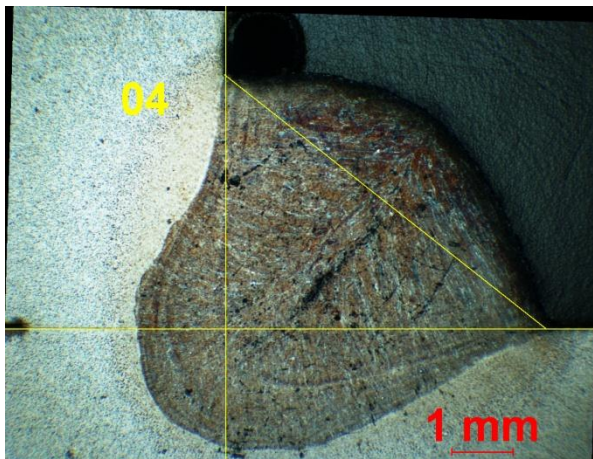
Na první pohled je zde patrný vliv intenzity procesu. Vzorky CP11 a P11, svařené při vyšší intenzitě vykazují vedle vyšší produktivity i nižší sklon k deformaci a lepší kvalitu a vzorky CP10 a CP101, při nižší intenzitě mají nulový závar a velké převýšení, což je vidět i z fotografií a negativně se to projevilo ve všech sledovaných ukazatelech. Z celkového hodnocení vychází CP11 jako nejlepší svar, který má největší závar i nosnou výšku.

Při porovnávání svařování drátem 1,2 a 1,0 mm vychází lépe ve většině ukazatelích svar CP14, svařený drátem 1,2 mm, který má vyšší produktivitu a zejména nižší převýšení vzhledem k šířce svaru, větší závar a nosnou výšku svaru než svar CP11, který byl vyhodnocen jako nejlepší svar drátem 1,0 mm.

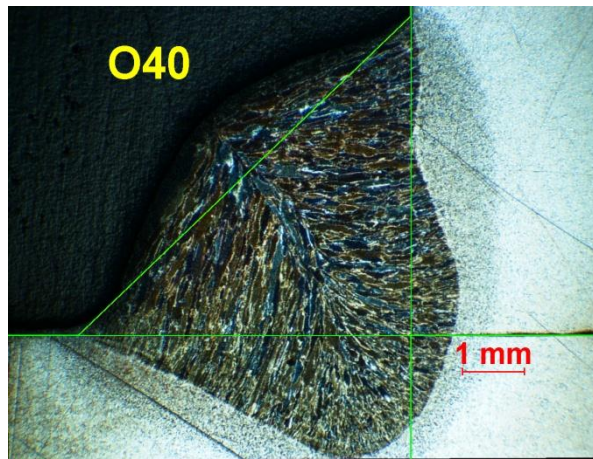
4.1.5. Svařování zrychleným zkratem (RapidArc) drátem 1,2

Plechý tloušťky 5 mm – použit drát 1,2 mm

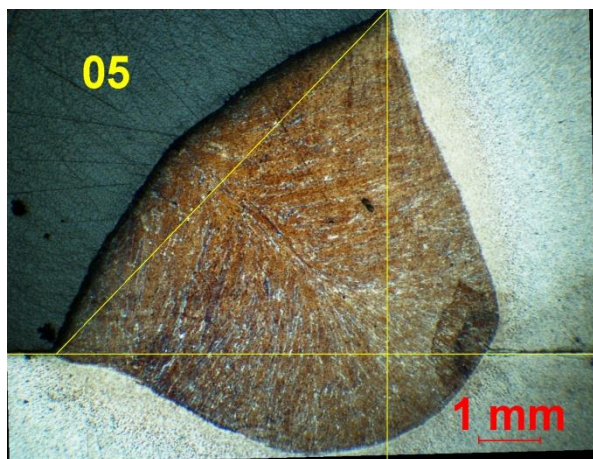
Drát 1,2 – O4=O40, O5=O50, O60, R3



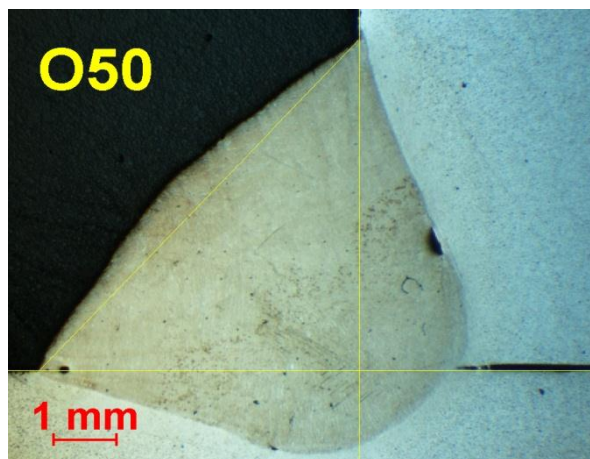
Obr. 34 - Svar O4



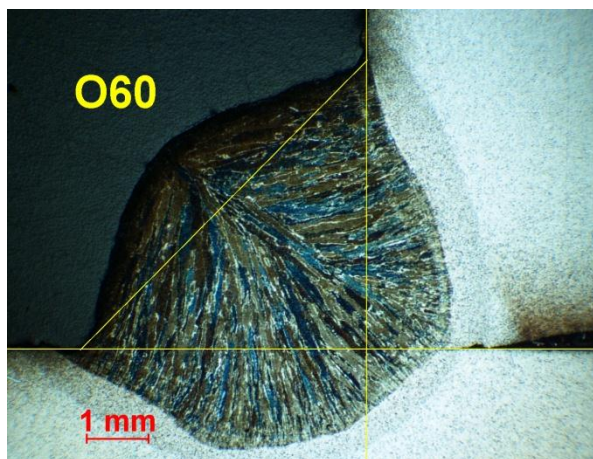
Obr. 35 – Svar O40



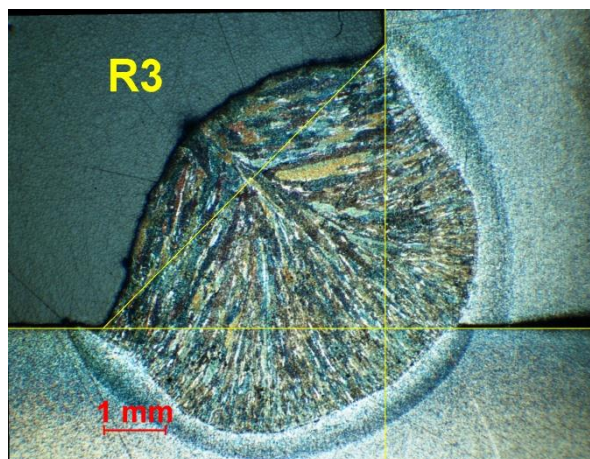
Obr. 36 – Svar O5



Obr. 37 – Svar O50



Obr. 38 – Svar O60



Obr. 39 – Svar R3

Tab. 11 - Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita			
RA	Drát	Vd	Vs	I	Q1	Z _{max}	V _{max}	Pm	a	V _s *v	Q ₁ /v	D	f ₂	c/b	β	p/w	a/a ₁
*O4	1,2P58	20,0	1,300	371	4,60	1,70	4,88	16,00	3,2	5,265	1,14	0,408	25,70	1,29	111-96	0,219	0,8
*O40	1,2P88	20,0	1,310	387	4,90	1,77	5,20	15,90	3,4	5,764	1,12	0,372	21,80	1,14	129-99	0,184	0,9
*O5	1,2P68	25,0	1,630	449	4,70	1,26	5,10	16,00	3,8	8,085	0,94	0,396	27,80	0,98	117-121	0,116	1,0
*O50	1,2P88	25,0	1,630	455	4,80	1,08	4,93	16,00	3,8	8,036	0,97	0,371	22,80	0,92	118-120	0,075	1,0
O60	1,2P88	27,0	1,760	487	4,90	0,87	4,10	16,00	3,2	7,216	1,19	0,410	22,60	1,00	110-114	0,195	0,8
R3	1,2P58	25,0	1,620	422	5,30	0,77	3,97	16,00	3,2	6,431	1,34	0,422	21,50	1,03	119-121	0,188	0,8



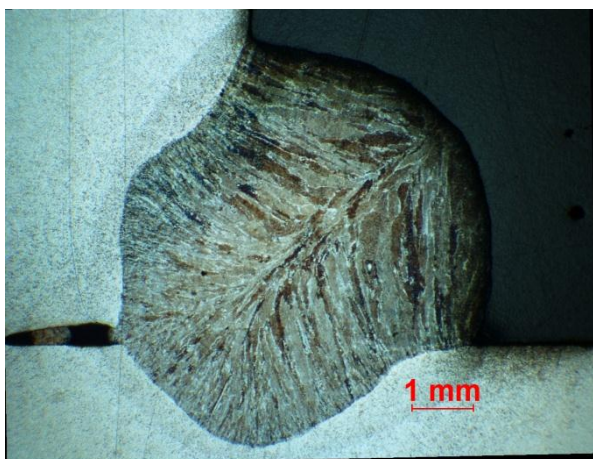
Diskuse:

Všechny svary byly svařovány pod ochranným plynem 92/8. Vzorky vykazují vysokou produktivitu, mají vyhovující závar a nosnou výšku svaru. Svary nemají ani žádnou viditelnou vadu a až na svar O40, který má horší souměrnost. Ostatní svary jsou souměrné. S vyšší produktivitou svařování úměrně klesá sklon k deformaci a stoupá intenzita svařování. Nejvyšší produktivitu má svar O5, nejnižší sklon k deformaci a nejlepší intenzitu svařování. Nosná výška a závar svaru O5 je vyšší a vyhovující. Pro využití v praxi je důležitá i šířka závaru, která zaručuje dosaženou hloubku závaru i při nepřesnostech dráhy hořáku.

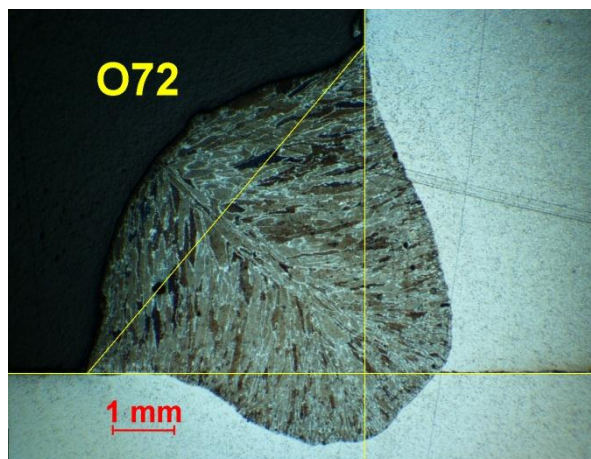
4.5.6. Svařování zrychleným zkratem drátem 1,0 mm

Plechý tloušťky 5 mm – použit drát 1,0 mm

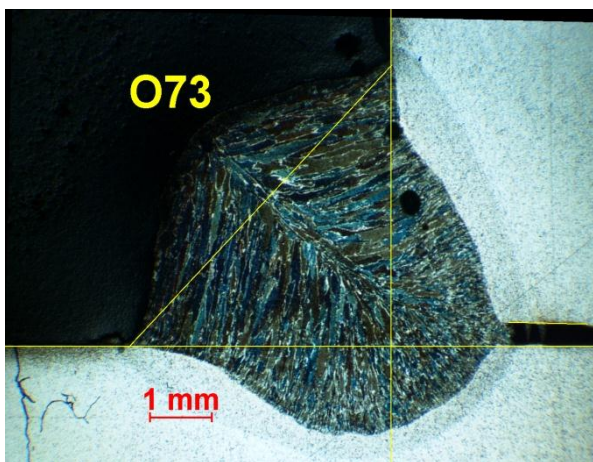
Drát 1,0 - O71=O72=O73, CR1=R1



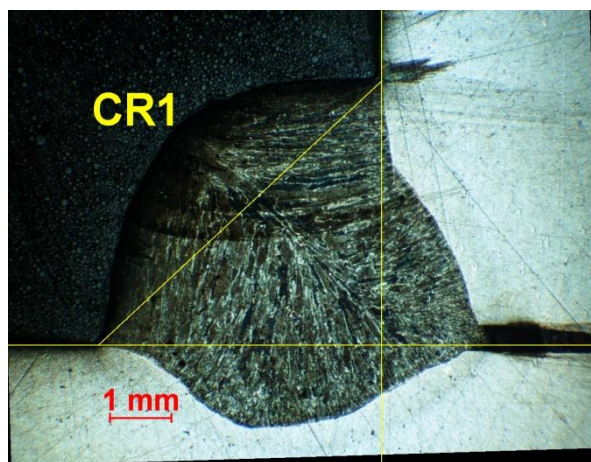
Obr 40 – Svar O71



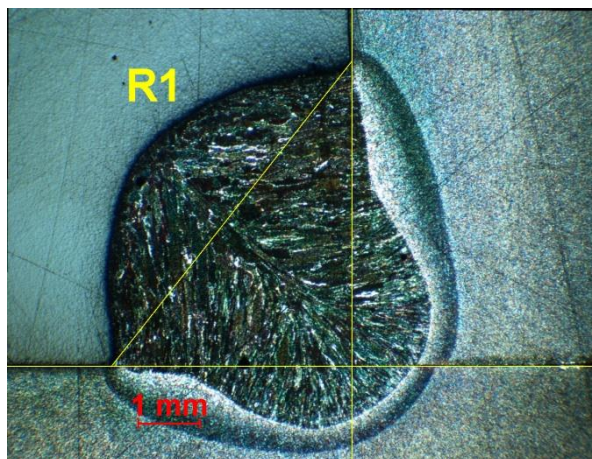
Obr. 41 – Svar O72



Obr. 42 – Svar O73



Obr. 43 – Svar CR1



Obr. 44 – Svar R1

Tab. 12 - Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita			
RA	Drát	Vd	Vs	I	Q1	Z _{max}	v _{max}	Pm	a	Vs*v	Q ₁ /v	D	f ₂	c/b	β	p/w	a/a _t
O71	1,0P68	30,0	1,330	369	4,40	1,17	4,54	16,20	3,3	6,038	0,98	0,337	21,60	0,80	93-110	0,215	0,8
O72	1,0P68	30,0	1,340	361	4,20	0,89	4,28	16,10	3,4	5,735	0,99	0,304	18,90	0,88	101-117	0,199	0,8
O73	1,0P68	30,0	1,350	371	4,20	1,34	4,44	16,00	3,1	5,846	0,97	0,373	21,70	0,93	103-105	0,244	0,8
CR1	1,0P58	30,0	1,360	356	4,80	1,00	4,10	15,90	3,1	5,576	1,18	0,335	17,00	1,09	113-98	0,242	0,8
R1	barva	30,0	1,355	346	4,70	0,78	3,81	15,90	3,0	5,163	1,23	0,263	12,50	0,81	101-112	0,274	0,8

Diskuse:

Při svařování drátem 1,0 mm byla nastavena rychlost drátu na maximální hodnotu 30 m/min. Přesto svary mají nižší produktivitu, než drátem 1,2 mm. U všech byla docílena nosná výška i hloubka závaru. Nejlepší produktivitu a nejnižší sklon k deformacím má svar O73, u kterého byl při stejných parametrech docílen nejhlubší závar, proto je z této skupiny nejlepší.

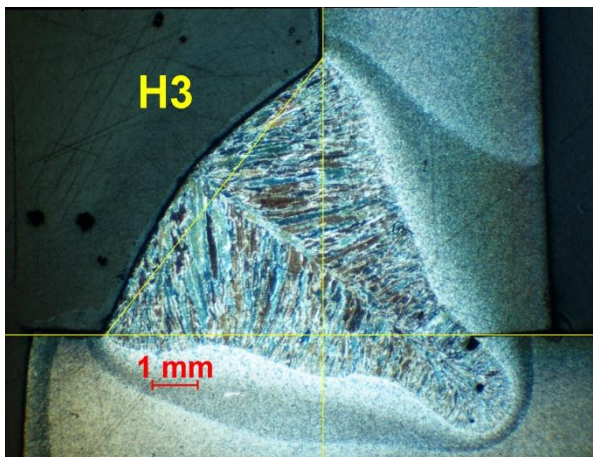
Po porovnání drátu 1,2 a 1,0 mm - svaru O5 a O73, svar O5 je lepší v ukazatelech produktivity, náchylnosti k deformaci i kvality, než svar O73. Větší průměr drátu při nízkém sklonu hořáku se pozitivně projevil v šířce svaru i závaru.



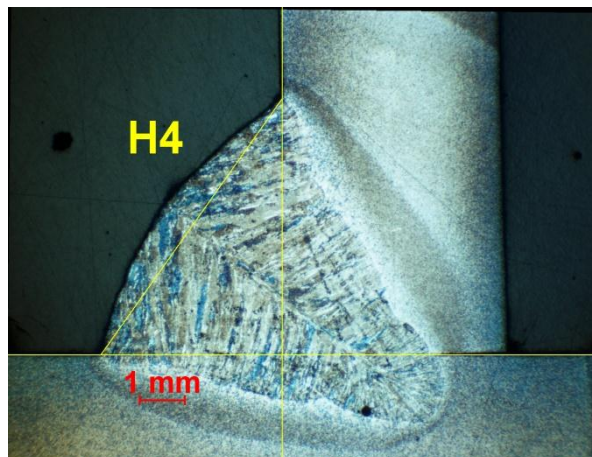
4.1.7. Svařování zkratovanou sprchou drátem 1,2 mm

Plechý tloušťky 5 mm – použit drát 1,2 mm

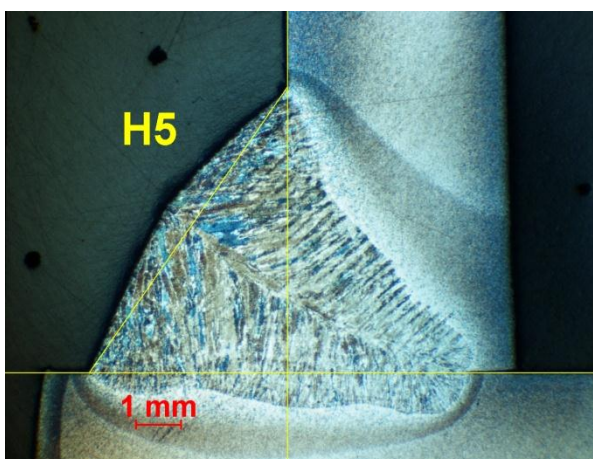
Drát 1,2 – H3, H4, H5, H6, O3



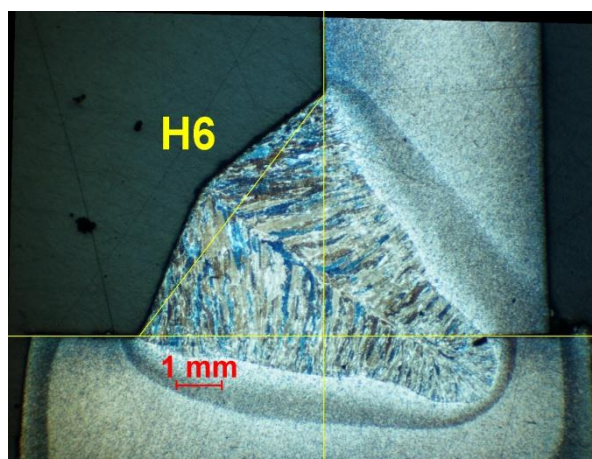
Obr. 45 – Svar H3



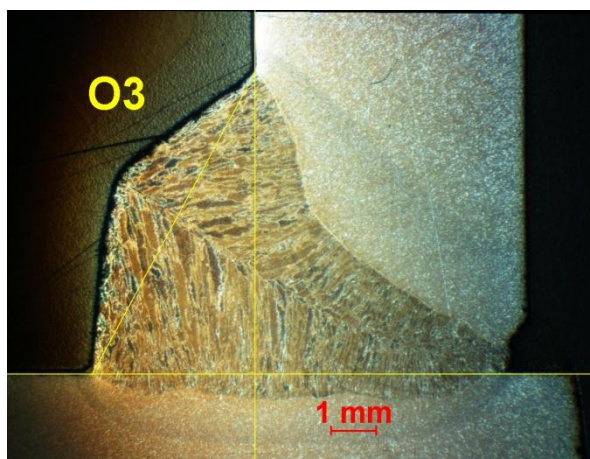
Obr. 46 – Svar H4



Obr. 47 – Svar H5



Obr. 48 – Svar H6



Obr. 49 – Svar O3



Tab. 13 - Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita		
HiPen	Drát	Vd	Vs	I	Q1	Z _{max}	V _{max}	P _m	a	V _s *v	Q ₁ /v	D	f ₂	p/v	β	p/w
H3	1,2P5He	12,6	0,890	377	7,4	4,26	7,90	14,70	3,8	5,758	1,15	0,468	22,8	0,11	112-128	0,090
H4	45	12,6	1,060	372	6,1	3,44	6,75	12,40	3,3	6,360	1,02	0,476	23,2	0,13	110-127	0,114
H5	30	12,6	0,900	370	7,2	3,40	7,00	14,60	3,6	6,183	1,05	0,496	24,3	0,10	116-127	0,113
H6	30	12,6	1,050	376	6,3	3,50	6,86	12,50	3,4	6,437	1,03	0,500	24,5	0,15	116-122	0,132
O3	1,2P6He	12,5	0,806	367	6,6	4,50	7,64	11,20	3,2	6,158	0,87	0,510	29,2	0,19	95-128	0,199

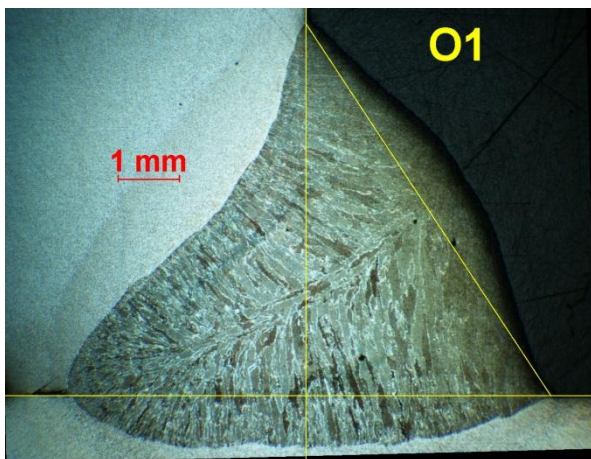
Diskuse:

Svary svařované drátem 1,2 mm metodou zkratované sprchy (HiPen) již na první pohled vykazují velmi hluboký závar, a tím i nosnou (účinnou) výšku. Tady nebyl hodnocen ukazatel souměrnosti svaru, protože svary byly úmyslně provedeny jako nesouměrné – pod úhlem 30° Na svarech H3, H4 a H6 se objevují drobné bublinky. Nejlépe vyšel svar O3, který má nejnižší sklon k deformaci, kromě jakosti. Jeho téměř kolmý přechod do pásnice jej řadí pouze do 3. Stupně jakosti. Ostatní svary, zhotovené při nepatrně vyšší intenzitě svařování, splňují podmínky 1. jakosti.

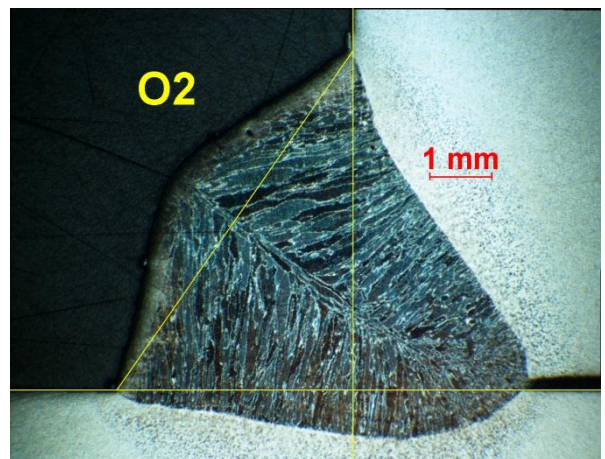
4.1.8. Svařování zkratovanou sprchou drátem 1,0 mm

Plechý tloušťky 5 mm – použit drát 1,0 mm

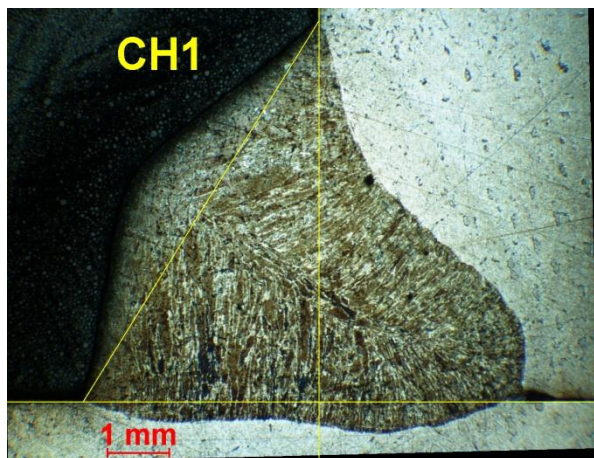
Drát 1,0 – O1, O2, CH1, H2



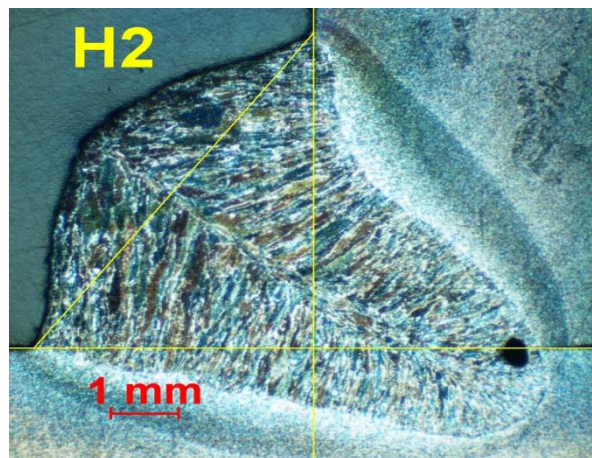
Obr. 50 – Svar O1



Obr. 51 – Svar O2



Obr. 52 – Svar CH1



Obr. 53 – Svar H2

Tab. 14 – Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita		
HiPen	Drát	Vd	Vs	I	Q1	Z _{max}	V _{max}	Pm	a	Vs*v	Q ₁ /v	D	f ₂	p/v	β	p/w
O1	1,0P6He	17,0	0,790	319	5,60	3,17	6,47	15,50	3,3	5,111	0,87	0,512	28,70	0,10	119-133	0,094
O2	1,0P6He	18,7	1,040	347	4,70	2,24	5,37	12,90	3,1	5,585	0,87	0,431	24,50	0,22	110-126	0,176
CH1	1,0P5He	17,0	0,821	302	6,00	2,71	5,94	14,90	3,2	4,721	1,04	0,436	21,10	0,19	123-146	0,153
H2	1,0P5He	18,5	0,920	338	6,20	3,32	6,70	14,50	3,4	5,621	1,02	0,452	25,30	0,26	116-118	0,229

Diskuse:

Svary svařené drátem 1,0 mm vykazují menší produktivitu, ale větší intenzitu než s drátem 1,2 mm. Tady nebyl hodnocen ukazatel souměrnosti svaru, protože svary byly úmyslně provedeny jako nesouměrné – pod úhlem 30°. Nejlépe vyšel svar O3z, který má největší produktivitu a naopak nejnižší sklon k deformaci. U svar H2 jsou patrné vady ve formě bublin a na to ukazuje větší sklon k deformaci.

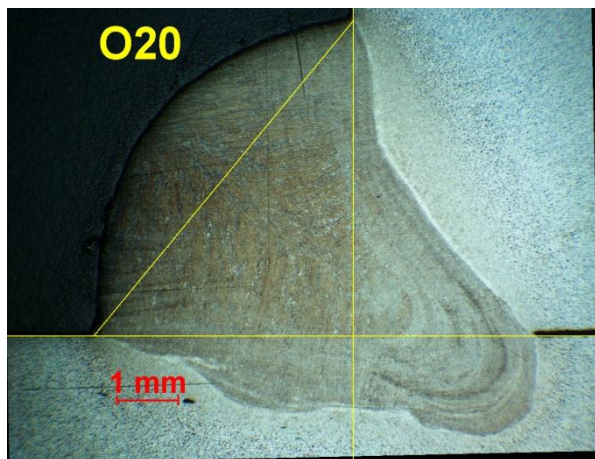
Při porovnání svaru O3 (drát 1,2 mm) a O1 (drát 1,0 mm) má svar O3 všechny sledované ukazatele lepší, menší sklon k deformaci, vyšší produktivitu svařování, ale oproti H6 nesplňuje podmínku nosné velikosti.



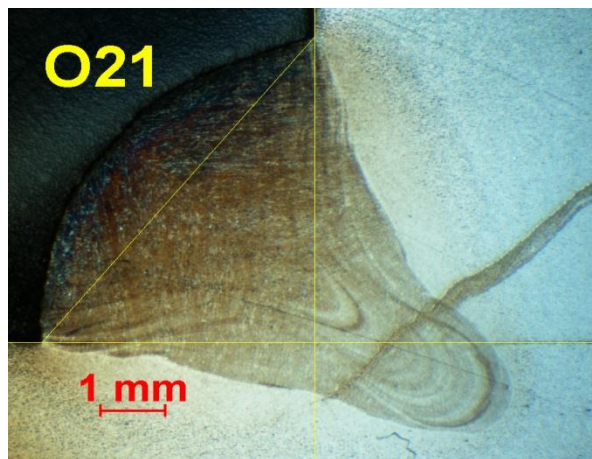
4.1.9 Svařování trubičkovým drátem PZ 6102

Plechý tloušťky 5 mm – použit drát PZ 6102

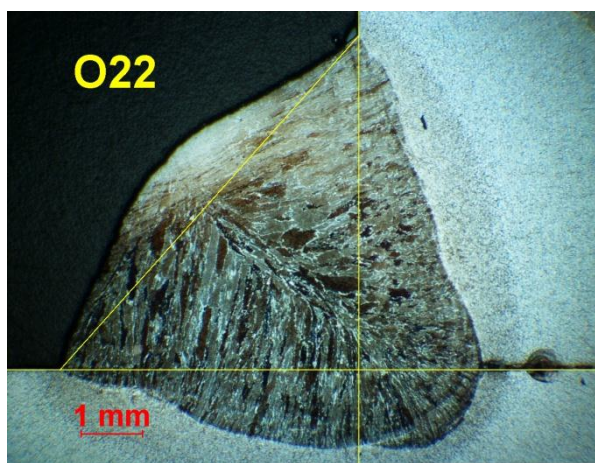
Drát PZ 6102 – O20, O21, O22, O23, CT1=T1, CT2



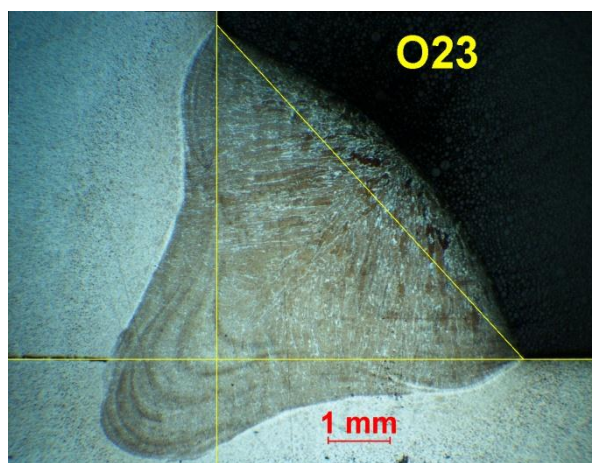
Obr. 54 – Svar O20



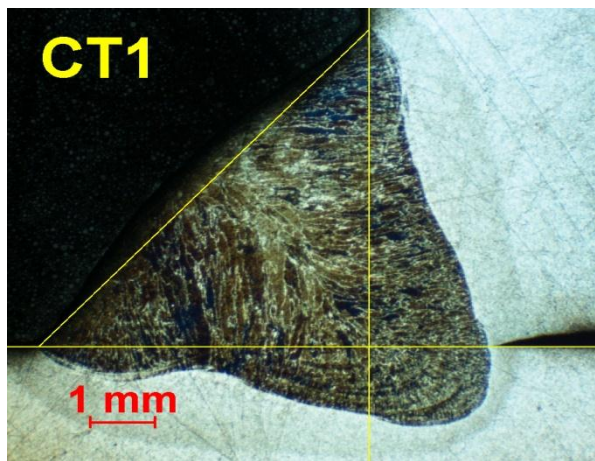
Obr. 55 – Svar O21



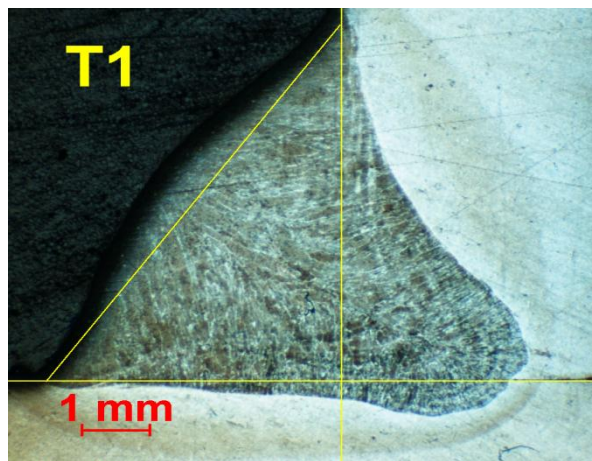
Obr. 56 – Svar O22



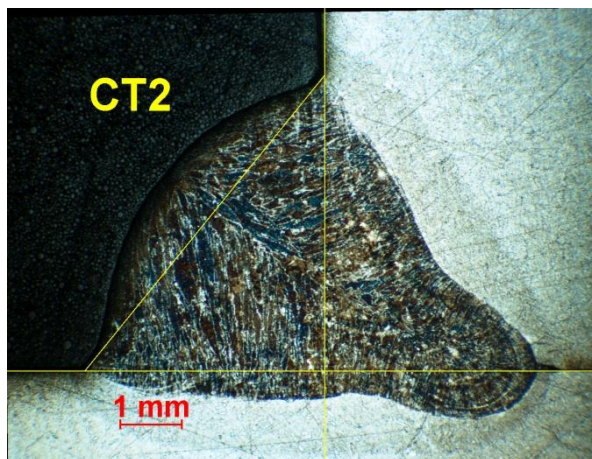
Obr. 57 – Svar O23



Obr. 58 – Svar CT1



Obr. 59 – Svar T1



Obr. 60 – Svar CT2

Tab. 15 – Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita			
Trub	Drát	Vd	Vs	I	Q1	z _{max}	v _{max}	Pm	a	Vs*v	Q _l /v	D	f ₂	c/b	β	p/w	a/a _t
O20	Tr18	14,4	0,911	347	5,60	2,95	6,22	16,10	3,3	4,965	1,02	0,422	22,90	0,85	100-107	0,215	0,8
O21	Tr7	14,4	0,903	351	5,70	3,10	6,43	16,30	3,3	4,948	1,03	0,399	20,70	0,81	96-116	0,176	0,8
O22	Tr18	11,8	0,727	304	6,50	1,77	5,35	16,60	3,6	3,635	1,30	0,415	19,20	0,92	110-127	0,139	0,8
O23	Tr7	11,8	0,738	305	6,40	2,15	5,79	16,30	3,6	3,616	1,31	0,375	16,90	0,94	113-117	0,111	0,9
CT1	TP5F7	11,8	0,744	315	6,60	2,05	5,83	16,20	3,8	3,876	1,26	0,423	19,00	0,91	128-132	0,053	0,9
T1		11,8	0,748	309	6,50	2,11	5,79	16,10	3,7	4,331	1,12	0,378	16,60	0,69	123-134	0,077	0,9
CT2	30st	14,0	1,120	349	5,20	2,73	5,72	12,80	3,0	6,339	0,91	0,468	22,60	0,83	122-117	0,148	0,8

Diskuse:

Bylo svařováno s dvěma úrovněmi intenzity procesu a dvěma úhly polohování O20 a O21 při polohování 45 st a vyšší intenzitě vykazují lepší parametry produktivity i vneseného tepla ale za cenu většího převýšení a strmějšího přechodu do zákl. materiálu. Ostatní svary při nižší intenzitě již splňují požadavky 1. Jakosti. Na všech svarech je použit trubičkový drát PZ6102.



5. Závěrečné porovnání technologií

5.1. Plech tl. 5 mm

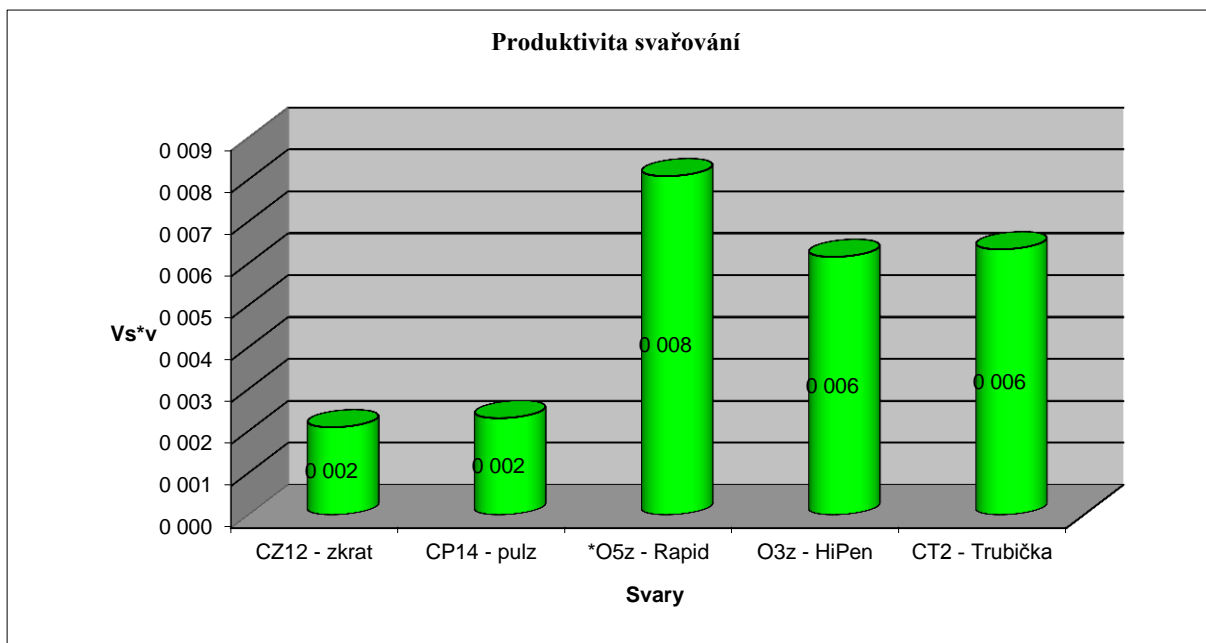
Vybrané svary s nejlepšími ukazateli: **CZ12, CP14, O5, O3 a CT2.**

Tab. 16 – Svary podle tří kritérií, základní parametry a geometrie

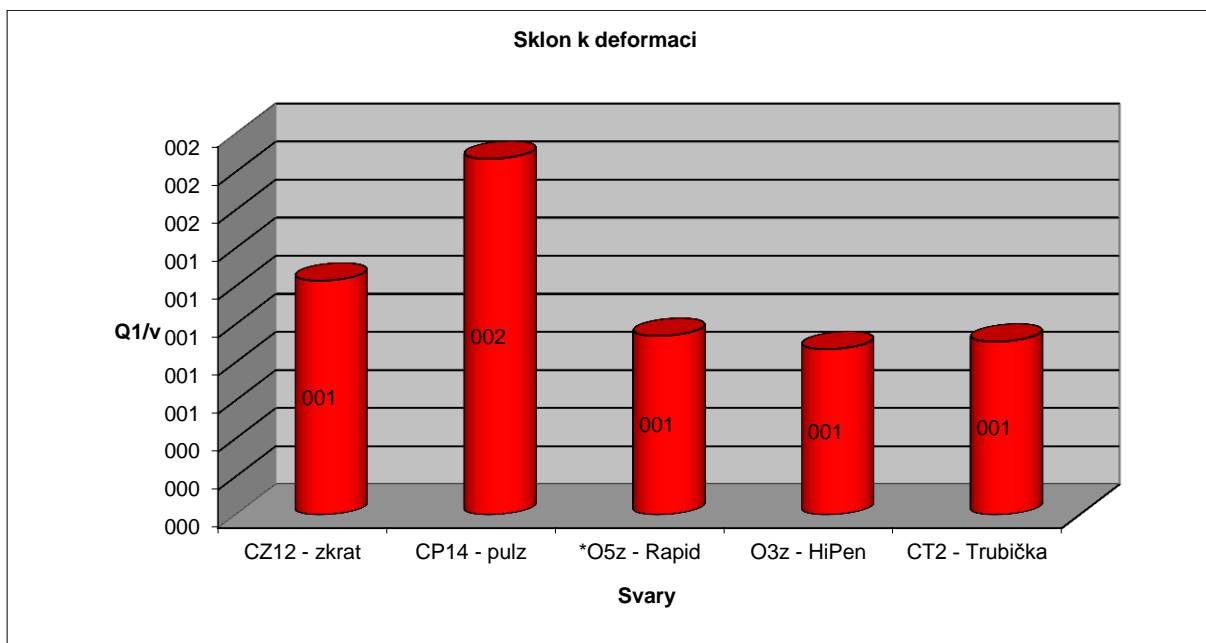
Označení		Parametry				Geometrie				Produktivita	Deformace			Kvalita		
	Metoda	Vd	Vs	I	Q1	z _{max}	v _{max}	Pm	a	Vs*v	Q ₁ /v	D	f ₂	β	p/w	a/a _t
CZ12	Zkrat	14,0	0,651	277	6,7	2,01	6,04	15,50	4,0	2,093	1,23	0,367	16,10	134-136	0,049	1,0
CP14	Pulz	7,0	0,452	269	9,6	1,54	5,40	16,10	3,9	2,310	1,87	0,307	9,20	133-131	0,117	1,0
O5	RA	25,0	1,630	449	4,7	1,26	5,10	16,00	3,8	8,085	0,94	0,396	27,80	117-121	0,116	1,0
O3	HiPen	12,5	0,806	367	6,6	4,50	7,64	11,20	3,2	6,158	0,87	0,510	29,20	95-128	0,199	1,0
CT2	Trubička	14,0	1,120	349	5,2	2,73	5,72	12,80	3,0	6,339	0,91	0,468	22,60	122-117	0,148	0,8

Tab. 17 – Odpovídající stupeň kvality dle normy EN ISO 5817 dle změřených úhlů přechodu svaru do materiálu (další ukazatele - hodnoty převýšení, souměrnosti atd. neuvádím, protože vyhověl požadavkům 1. Jakosti ve všech případech)

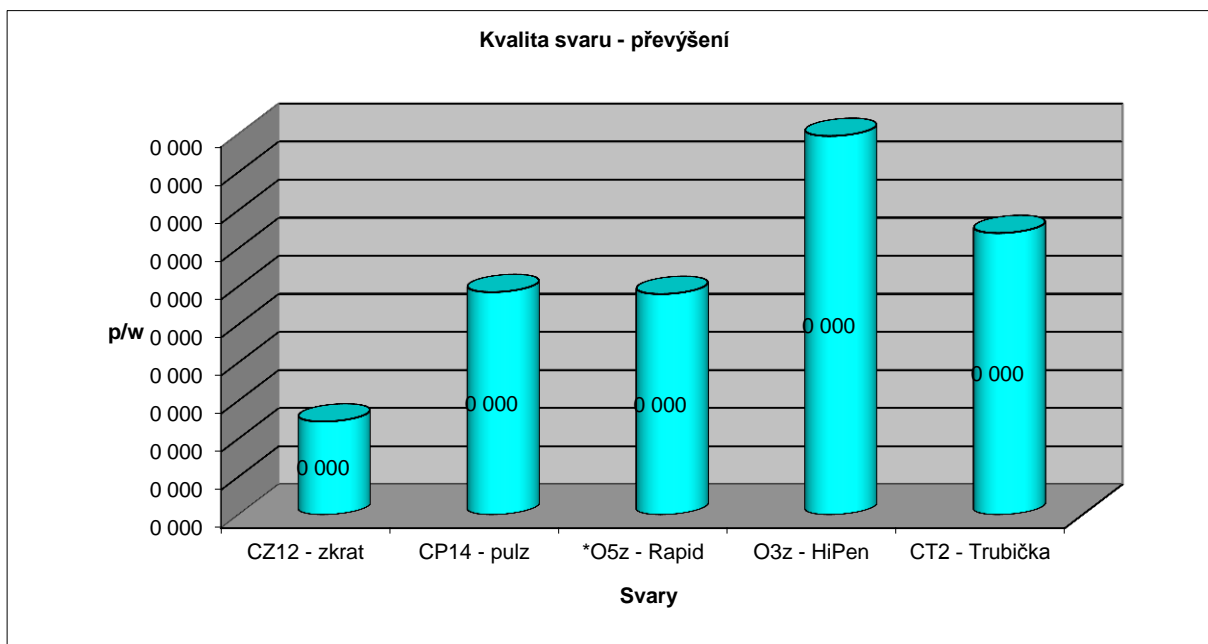
Označení		Kvalita
	Metoda	β
CZ12	Zkrat	134-136 - <110 - 1
CP14	Pulz	133-131 - <110 - 1
*O5z	RA	117-121 - <110 - 1
O3z	HiPen	95-128 - <90 - 3
CT2	Trubička	122-117 - <110 - 1



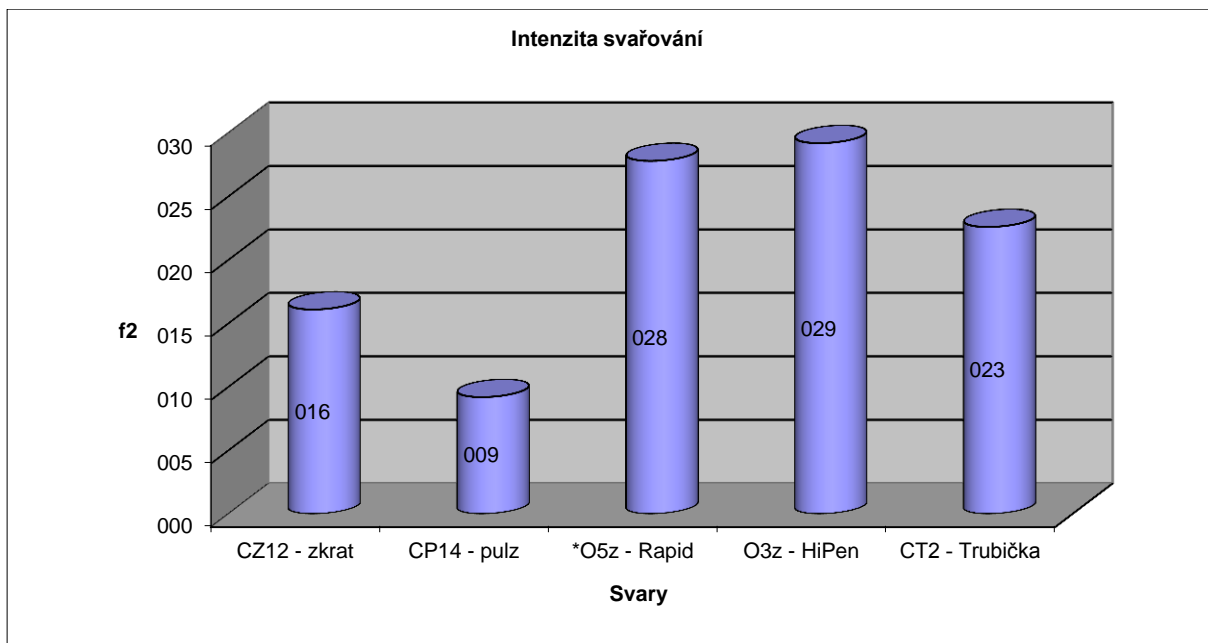
Graf 1 - Přímá úměra rychlosti svařování a nosné velikosti svaru



Graf 2 - Poměr vneseného tepla a nosné velikosti



Graf 3 - Poměr převýšení svaru a šířky housenky



Graf. 4 - Intenzita svařování



Diskuse:

Finálové svary, které mají nejlepší ukazatele, jsou z vybraných technologií zkrat, pulz, zrychlený zkrat, zkratovaná sprcha a trubičkový drát.

Svar O5 metodou zrychleného zkratu (RapidArc) má největší produktivitu svařování, nízké vnesené tepla a tedy i nízký sklon k deformaci a vnější tvar splňuje požadavky na 1. jakost. Vysoká produktivita svařování je zaručena díky moderní technologii zrychleného zkratu, kde je 2,5x vyšší rychlost svařování oproti zkratované sprše (až čtyřnásobná poměrná produktivita při započítání závaru). Kvalita je srovnatelná.

Nejnižší sklon k deformaci, daný nejvyšším poměrem zředění a nejvyšší účinností tavení materiálu má svar O3 svařovaný moderní technologií zkratované sprchy (HiPen). Produktivita svařování je menší oproti svaru O5 (RapidArc), ale i přesto vyšší, než u starších metod svařování – zkrat a pulz, které jsou až třikrát méně produktivní. Z hlediska kvality tento konkrétní svar splňuje pouze 3. stupeň, ale touto metodou je dosažitelný i 1. stupeň kvality.

Svařování trubičkovým drátem je moderní technologií svařování a má hned po metodě zrychleného zkratu druhou nejvyšší produktivitu svařování. Druhý nejnižší ukazatel sklonu k deformaci a z hlediska kvality vyhovuje 1. stupni.

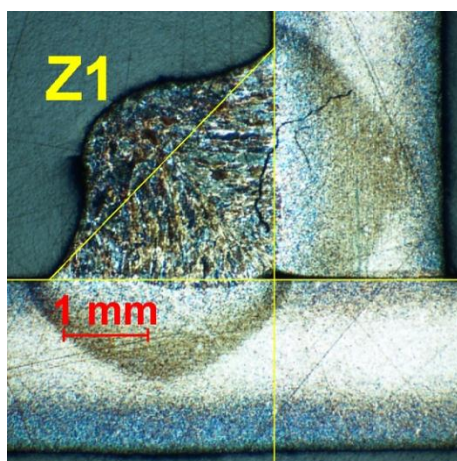
Metody pulzu a zkratu, které jsou již staršími metodami svařování, opravdu oproti moderním technologiím zrychleného zkratu, zkratované sprchy a trubičkového drátu mají ukazatel produktivity svařování až čtyřikrát menší než u zrychleného zkratu a třikrát menší než u zkratované sprchy a trubičkového drátu. Metoda zkratu dosahuje vyššího sklonu k deformaci a metoda pulzu až dvojnásobku sklonu k deformaci oproti metodě zkratované sprchy. Nejnižší intenzitu svařování má metoda pulzu, ale velmi přesnou souměrnost svaru.



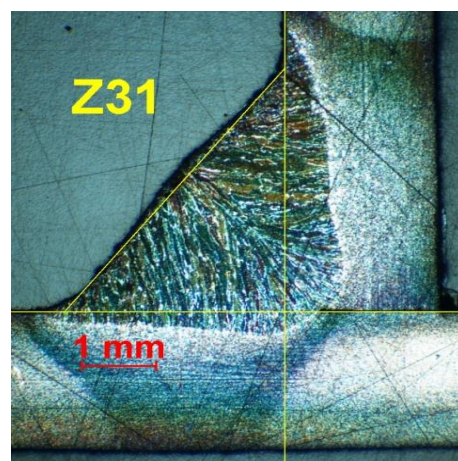
5.2. Svařování plechu tloušťky 2 mm

Pro svařování koutového svaru a2 plechů tl. 2 mm musíme vybrat technologie, kterými by bylo možno zhotovit svar o průřezové ploše 4 mm^2 , parametry v dosahu stabilního režimu svařování.

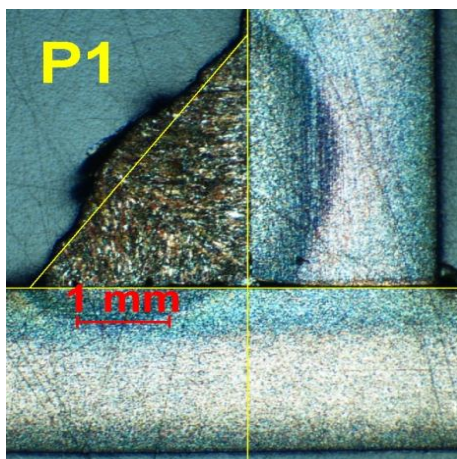
Použijeme nejmenší průměr komerčně vyráběného drátu – 0,8 mm. Parametrický rozsah rychlosti drátu ve zkratovém režimu je od cca 3 do 13,5 m/min. Pro toto rozmezí vychází rozsah rychlosti svařování od 35 do 155 cm/min., takže zahrnuje i oblast ručního vedení hořáku, kterou firma požaduje experimentálně ověřit na prvním místě – pro maximální rychlost svařování 50 cm/min. Byla zvolena rychlost 45 cm/min., což odpovídá rychlosti drátu minimálně 3,9 m/min., včetně rezervy na převýšení – 4,4 m/min (svary Z1 a P1). Ostatní svary jsou mimo dosah ruční manipulace a kromě drátu 0,8 mm byl použit i plný drát 1,0 mm a trubičkový drát OK Tubrod 14.11, který byl vyvinut speciálně pro svařování tenkých plechů vysokou rychlostí.



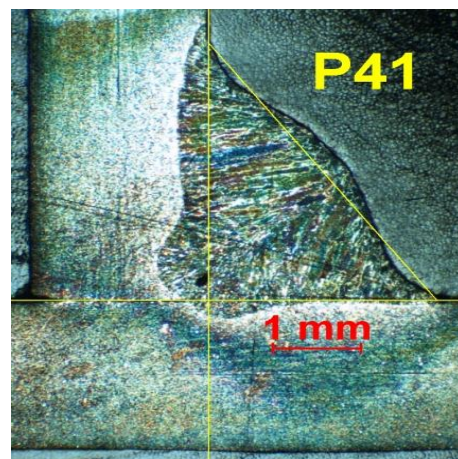
Obr. 61 – Svar Z1



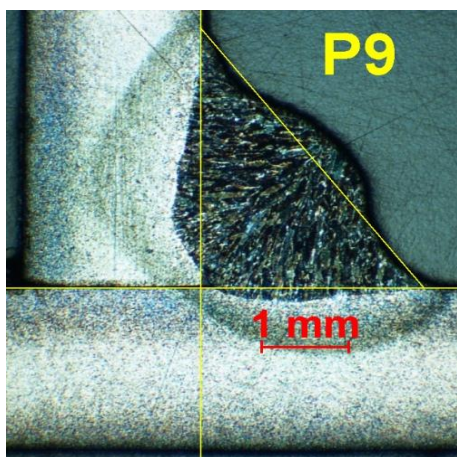
Obr. 62 – Svar Z31



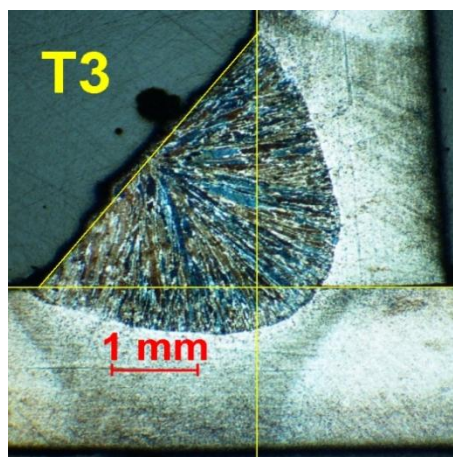
Obr. 63 – Svar P1



Obr. 64 – Svar P4



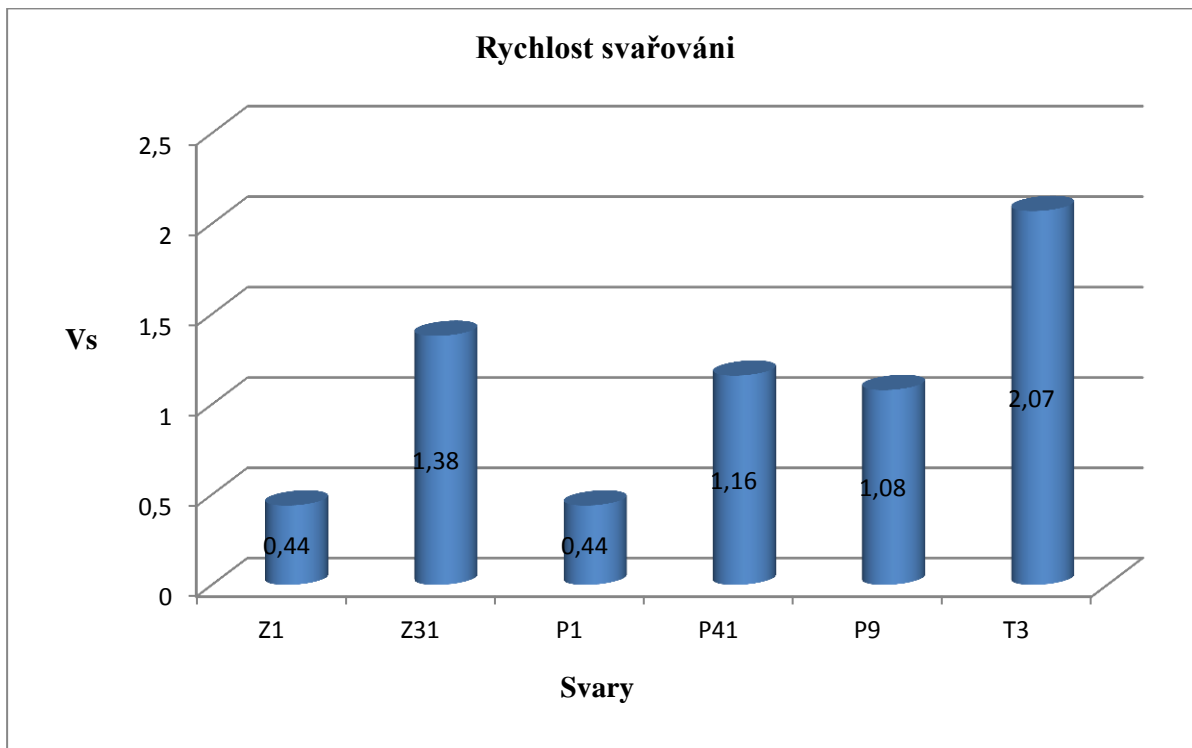
Obr. 65 – Svar P9



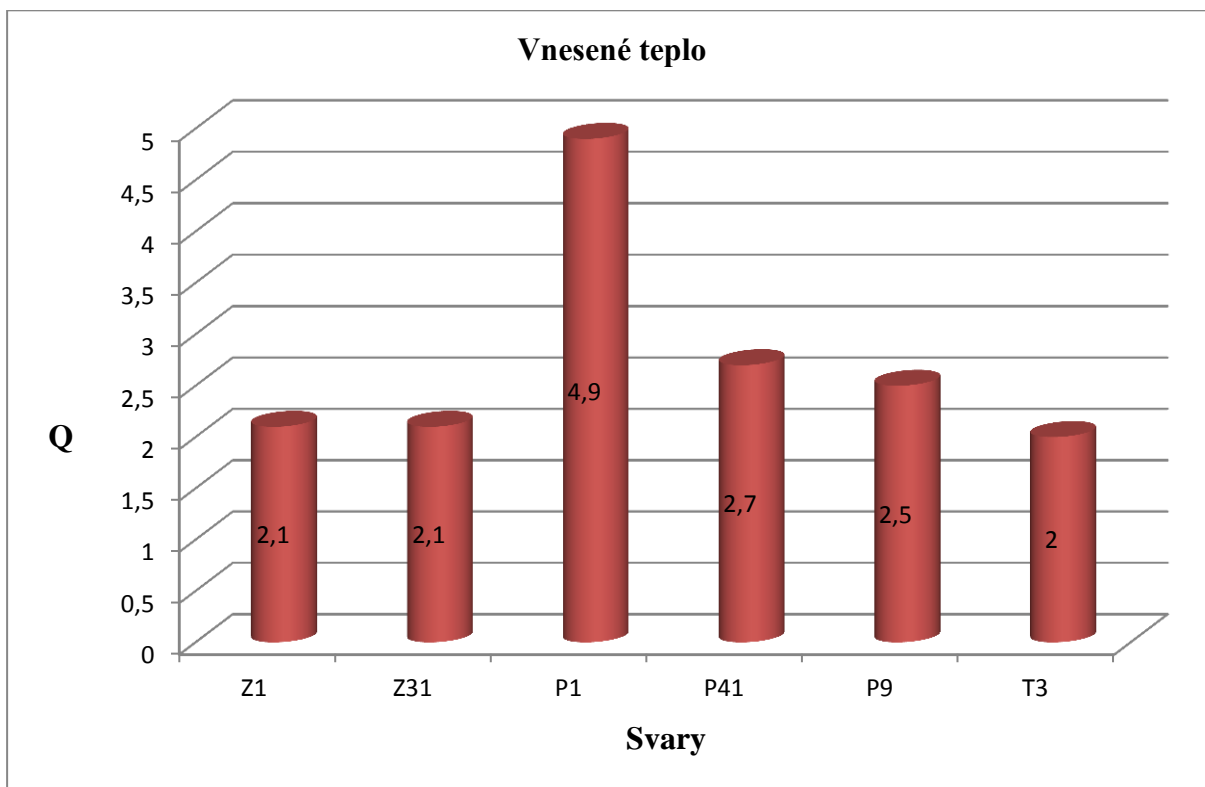
Obr. 66 – Svar T3

Tab. 18 Parametry pro plechy 2 mm

Drát[mm]	Označení	V _d	V _s	I	Q	P _M
0,8	Z1	4,4	0,44	85	2,1	4,6
0,8	Z31	13,5	1,38	185	2,1	4,4
0,8	P1	4,4	0,44	110	4,9	4,6
0,8	P41	12	1,16	192	2,7	4,8
1,0	P9	7,0	1,08	192	2,5	4,7
1,2	T3	9,5	2,07	282	2,0	4,7



Graf 5 - Rychlost svařování



Graf 6 - Vnesené teplo



Diskuse

Svařování drátem 0,8 mm se ukázalo jako velmi problematické. Malý průměr drátu vytváří úzkou housenku, která při mírné deformaci plechů střídavě smáčí více stojnu nebo pásnici, takže housenka je nepravidelná s neprůvary na jedné nebo druhé straně. Tento problém se výrazně nezlepšil ani při nastehování vzorku po 50 mm.



Obr. 67 – Svar P1



Obr. 68 – Svar P41

Svařování v režimu dosažitelném pro manuální vedení hořáku (Z1 a P1) vykazuje nedostatečné natavení až studené spoje. Vnesené teplo 4,6 kJ/cm při nízké účinnosti tavení (nízká intenzita) nestačí pro vytvoření dostatečné svarové lázně.

Při zvýšení intenzity procesu (Z31 a P41) je při stejném vneseném teple lázeň dostatečná ale problém s nepravidelností housenky se ještě zvětšil. Ze stejného důvodu byly neúspěšné a nejsou zde uvedeny experimenty s procesem RapidArc.

Jediné použitelné experimenty byly svařování pulzem s drátem 1,0 mm (P9) a svařování trubičkovým drátem 1,2 mm (T3).



Obr. 69 – Svar P9



Obr. 70 Svar T3

Při souhrnném hodnocení svarů na plechu 2 mm (graf 5 a 6) musíme vyloučit všechny svary, zhotovené drátem 0,8 mm z důvodů nemožnosti zajištění kvality. V porovnání zbylých dvou technologií vychází výrazně lépe svařování trubičkovým drátem – dosahuje rychlosti svařování 2 m/min a vnáší do svaru nejméně tepla. Navíc i při této rychlosti má dostatečný závar, plochý povrch housenky a díky průměru 1,2 mm je housenka pravidelná i při mírné deformaci plechů.



6. Závěr

V současné době se vedle moderních digitálních invertorových zdrojů vyrábějí stále i analogové tyristorové zdroje, vedle hlazeného plného drátu a trubičkových drátů i klasický poměděný, vedle dvou a třísložkových plynů i klasické CO₂. Ne vždy se vyplatí investice do inovace technologie. Při automatickém a robotickém svařování, kde hlavní investicí je automatizace, se však inovace technologie MAG vyplatí vždy, protože může nabídnout postupy, které jsou s klasickými systémy nedosažitelné a které mohou nabídnout až několika násobné zvýšení produktivity, snížení vneseného tepla a zajištění kvality.

Co se týče svařování plechu 2 mm, pro tenké plechy byla v posledních letech vyvinuta řada speciálních technologií, které byly též v rámci daného úkolu experimentovány, ale jsou mimo rámec zadání této práce. Jedná se o technologie: CMT fy Fronius, MicroMIG fy SKS, kvadropulz, DUO Plus a IAC fy Migatronik atd. Svařování trubičkovým drátem OK Tubrod 14.11, který jako jediný využívá klasického sprchového procesu, bylo zahrnuto do jiné bakalářské práce.



7. Použité vzorce

Použité vzorce:

Měrné vnesené teplo:

$$Q_1 = h * \frac{U * I}{100 * V_s} * 0,06 \left[\frac{kJ}{cm} \right] \quad (1)$$

Zředění:

$$D = \frac{P_S - P_N}{P_S} [-] \quad (2)$$

Účinnost tavení:

$$f_2 = \frac{10,5}{Q_1 * (P_S - P_N)} [J] \quad (3)$$

Vypočtená plocha:

$$P_M = k_1 * k_2 * \frac{V_D}{V_S} * \pi r^2 [mm^2] \quad (4)$$

Produktivita svařování vzhledem k účinné výšce:

$$V_S * v \quad (5)$$

Souměrnost:

$$c/b \quad (6)$$

Poměrné vnesené teplo k účinné výšce:

$$Q_1/v \quad (7)$$

Poměrné převýšení k šířce svaru:

$$p/w \quad (8)$$

Poměr skutečné a teoretické nosné velikosti svaru:

$$a/a_t \quad (9)$$



Seznam použité literatury

- [1] Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektoródou; Peter Ondrejček, vydal ETERNA PRESS s.r.o, Bratislava 2003, ISBN 80-968359-5-5
- [2] Technologie I. Slévání a svařování; Prof. Ing. Iva Nová, Csc., Ing. Iva Nováková, Ing. Jiří Bradáč, vydala Technická univerzita v Liberci 2006, ISBN 55-017-06
- [3] http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I_svarovani_kubicek.pdf [cit. 5. listopadu 2011]
- [4] Optimalizace konstrukčních a technologických parametrů koutových svarů zhotovených metodou MAG; Ing. Zdeněk Hudec PhD., disertační práce, Liberec 2005
- [5] http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t2-11_svarovanikovuelektrickymobloukem.pdf [28. listopadu 2011]
- [6] <http://www.okweld.cz/trubickovy-drat.htm> [8. prosince 2011]
- [7] <http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Pr%C5%AFvodce%20FCAW.pdf> [cit. 23. prosince 2011]
- [8] <http://shop.migatronik.cz/hlavni-oddeleni/kategorie/svarovaci-zdroje/sigma2-500-c-v-pulse?id=620> [cit. 23. prosince 2011]
- [9] <http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=72704> [cit. 23. prosince 2011]
- [10] http://www.airproducts.sk/metalfabrication/zvaranie/pdf/SK_Ferromaxx7.pdf
http://www.airproducts.sk/metalfabrication/zvaranie/pdf/SK_FerromaxxPlus.pdf [cit. 8. prosince 2011]
- [11] ČSN EN ISO 5817



Příloha

Zkrat	P8ob	Vd	Vs	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
O16	1,2Z18	7	0,452	245	24,6	15	6,8	16,1	0,9	0,88	5,27	6,03	3,97	0,67	0,67	4,63	4,63	0,6	8	127-140
O19	1,2Z7	7	0,453	240	24,9	15	7,9	16,1	0,9	0,88	5,64	5,6	3,94	0,61	0,66	4,56	4,62	0,6	7,9	132-133
CZ14	1,2P5F7	7	0,436	244	24,8	15	8,3	16,7	2	2,02	4,85	6,54	3,89	1,45	1,45	5,33	5,33	0,5	8,1	127-143
Z14	barva	7	0,445	238	24,9	15	8,0	16,4	0,7	0,71	5,32	6,07	4,02	0,54	0,54	4,54	4,54	0,3	8,3	132-132

Zkrat	P8ob	Vd	Vs	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
CZ10	1,0P5F7	8,9	0,41	222	21,3	13	7,0	15,8	0,00	0,00	4,32	6,00	3,51	0,00	0,00	3,50	3,5	1,12	7,4	115-139
Z10	barva	8,9	0,414	220	21,3	13	6,8	15,5	0	0	4,41	5,81	3,5	0	0	3,5	3,5	1,1	7,3	113-134
CZ11	1,0P5F7	12,2	0,54	254	24	14	6,8	16,3	1,1	1,09	5,34	5,89	3,94	0,77	0,77	4,68	4,68	0,7	7,9	132-140
Z11	barva	12,2	0,54	254	24	14	6,8	16,3	1,2	1,22	5	6,07	3,83	0,93	0,93	4,79	4,79	0,7	7,9	125-140
CZ12	1,0P5F7	14	0,651	277	26,3	14	6,7	15,5	2	2,01	5,42	5,98	4,02	1,47	2,01	5,48	6,04	0,4	8,1	134-136

Pulz	P8ob	Vd	Vs	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
O17	1,2P7	7	0,452	263	27,3	18	8,1	16,1	0,9	1,01	5,5	6,25	4,13	0,64	1,11	4,77	5,14	0,3	8,3	132-140
O18o	1,2P8	7	0,455	271	26,8	18	9,6	16,0	1,3	1,4	5,79	6,29	4,25	1,04	1,04	5,3	5,3	0,3	8,5	130-134
CP14	1,2P5F7	7	0,452	269	26,8	17	9,6	16,1	1,9	1,85	5,55	5,42	3,86	1,22	1,54	5,11	5,4	0,9	7,7	133-131

Pulz	P8ob	Vd	Vs	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
CP10	1,0P5F7	8,9	0,412	233	20,1	15	6,8	15,6	0	0	4,69	5,14	3,45	0	0	3,45	3,45	1,3	7	126-122
CP101	1,0P58	8,9	0,413	241	20	15	7,0	15,5	0	0	4,44	5	3,33	0	0	3,33	3,33	1,6	6,7	127-127
CP11	1,0P58	12,2	0,56	249	23,8	15	6,3	15,7	0,7	0,67	5,66	5,05	3,77	0,43	0,64	4,21	4,4	0,8	7,6	134-118
P11	barva	12,2	0,544	247	23,9	15	6,5	16,1	0,7	0,74	4,65	5,62	3,59	0,58	0,58	4,18	4,18	1	7,4	127-139

RA		Vd	Vs	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
*O4z	1,2P58	20,0	1,30	371	31,7	26,0	4,6	16,0	1,5	1,46	5,16	4	3,17	0,89	1,7	4,05	4,88	1,45	6,6	111-96
*O40	1,2P88	20,0	1,31	387	32,6	26,0	4,9	15,9	1,5	1,48	5,19	4,57	3,44	0,97	1,77	4,4	5,2	1,27	6,9	129-99
*O5z	1,2P68	25,0	1,63	449	33,3	26,0	4,7	16,0	1,6	1,8	5,38	5,45	3,82	1,12	1,26	4,96	5,1	0,88	7,6	117-121
*O50	1,2P88	25,0	1,63	455	33,6	26,0	4,8	16,0	1,5	1,45	5,24	5,67	3,84	1,08	1,08	4,93	4,93	0,57	7,6	118-120
O60	1,2P88	27,0	1,76	487	34,6	26	4,9	16,0	1,23	1,23	4,58	4,58	3,23	0,87	0,87	4,10	4,10	1,27	6,5	110-114
R3	1,2P58	25	1,62	422	34,1	32	5,3	16,0	1,1	1,14	4,6	4,46	3,2	0,77	0,77	3,97	3,97	1,2	6,4	119-121

RA		Vd	Vs	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
O71	1,0P68	30,0	1,33	369	31,3	22	4,4	16,2	1,51	1,80	4,34	5,24	3,34	1,17	1,17	4,54	4,54	1,46	6,8	93-110
O72	1,0P68	30,0	1,34	361	30,7	22	4,2	16,1	1,20	1,20	4,50	5,14	3,39	0,89	0,89	4,28	4,28	1,35	6,8	101-117
O73	1,0P68	30,0	1,35	371	30,1	22	4,2	16,0	1,70	1,93	4,21	4,52	3,08	1,23	1,34	4,33	4,4	1,51	6,2	103-105
CR1	1,0P58	30	1,36	356	30,7	24	4,8	15,9	1,5	1,51	4,59	4,2	3,1	1	1	4,1	4,1	1,5	6,2	113-98
R1	barva	30	1,355	346	30,7	24	4,7	15,9	1	1,03	3,9	4,81	3,03	0,78	0,78	3,81	3,81	1,7	6,2	101-112

HiPen		Vd	Vs	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
H3	1,2P5He	12,6	0,89	377	29,3	14	7,4	14,7	3,4	4,15	4,9	6,13	3,83	2,66	4,26	6,47	7,9	0,7	7,8	112-128
H4	45	12,6	1,06	372	29,2	14	6,1	12,4	3,3	3,55	4,12	5,62	3,32	2,69	3,44	6	6,75	0,8	7	110-127
H5	30	12,6	0,9	370	29,3	14	7,2	14,6	4	4,03	4,5	6,15	3,63	3,25	3,4	6,87	7	0,7	7,6	116-127
H6	30	12,6	1,05	376	29,3	14	6,3	12,5	3,6	3,79	4,34	5,34	3,37	2,77	3,5	6,13	6,86	0,9	6,8	116-122
O3	1,0P6He	12,5	0,83	351	28,3	13,0	6,1	10,8	3,68	3,68	4,17	5,95	3,4	3	3	6,4	6,4	1,25	7,2	108-123

HiPen		Vd	Vs	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
O1	1,0P6He	17,0	0,79	319	27,2	12,5	5,6	15,5	3,9	3,85	4	5,9	3,3	3,17	3,17	6,47	6,47	0,67	7,1	119-133
O2	1,0P6He	18,7	1,04	347	27,4	12,5	4,7	12,9	2,8	2,8	3,85	5,38	3,13	2,24	2,24	5,37	5,37	1,16	6,6	110-126
CH1	1,0P5He	17	0,821	302	27,1	13	6,0	14,9	2,9	3,34	3,85	6,03	3,24	2,5	2,71	5,75	5,94	1,1	7,2	123-146
H2	1,0P5He	18,5	0,92	338	28,2	13	6,2	14,5	3,4	3,47	4,23	5,63	3,39	2,71	3,32	6,11	6,7	1,6	7	116-118



Trub		V _d	V _s	I	U	CW	Q	P _M	x	x _{max}	c	b	a	z	z _{max}	v	v _{max}	p	w	β
O20	Tr18	14,4	0,911	347	28,6	16	5,6	16,1	2,9	2,98	4,28	5	3,26	2,23	2,95	5,45	6,22	1,4	6,5	100-107
O21	Tr7	14,4	0,903	351	28,6	16	5,7	16,3	2,8	3,11	4,27	5,3	3,33	2,15	3,1	5,48	6,43	1,2	6,8	96-116
O22	Tr18	11,8	0,727	304	25,9	16	6,5	16,6	2	2	4,86	5,3	3,57	1,42	1,77	5	5,35	1	7,2	110-127
O23	Tr7	11,8	0,738	305	25,8	16	6,4	16,3	1,8	1,9	4,98	5,3	3,62	1,29	2,15	4,9	5,79	0,8	7,2	113-117
CT1	TP5F7	11,8	0,744	315	25,9	15	6,6	16,2	1,9	1,97	5,11	5,64	3,79	1,44	2,05	5,21	5,83	0,4	7,6	128-132
T1		11,8	0,748	309	26,1	15	6,5	16,1	2,6	2,56	4,47	6,45	3,68	2,11	2,11	5,79	5,79	0,6	7,8	123-134
CT2	30st	14	1,12	349	27,6	15	5,2	12,8	3,5	3,45	3,88	4,68	2,99	2,69	2,73	5,66	5,72	0,9	6,1	122-117